ISSN 2220-6418

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АКАДЕМИЯ ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ КОСМОНАВТИКИ имени К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ» РАН
(ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР РАН имени А. А. ДОРОДНИЦЫНА)
АО «УПКБ "ДЕТАЛЬ"», АО «РАДИОЗАВОД»,
АО «ФНПЦ «ПО "СТАРТ" имени М. В. ПРОЦЕНКО», АО «НИИЭМП»
АО «ПНИЭИ», АО «НИИФИ», АО «НПП "РУБИН"»
ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Л. Н. ГУМИЛЕВА
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



ТРУДЫ
МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА

НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО

Посвящается 300-летию
Российской академии наук

Том 2

ПЕНЗА 2024

УДК 621.396.6:621.315.616.97:658:562
Т78

Труды Международного симпозиума НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО –
Т78 Пенза: Изд-во ПГУ, 2024. – Т.2. – 498 с.

Представлены доклады XXIX Международного симпозиума «Надежность и качество», посвященного 300-летию Российской академии наук, проходившего с 27 мая по 1 июня 2024 г. в г. Пензе.

Рассмотрены актуальные проблемы теории и практики повышения надежности и качества: эффективности внедрения инновационных и информационных технологий в фундаментальные научные и прикладные исследования, образовательные и коммуникативные системы и среды, экономику и юриспруденцию; методов и средств анализа и прогнозирования показателей надежности и качества приборов, устройств и систем, а также анализа непараметрических моделей и оценки остаточного ресурса изделий двойного назначения; ресурсосбережения; проектирования интеллектуальных экспертных и диагностических систем, систем управления и связи, интерактивных, телекоммуникационных сетей и сервисных систем; экологического мониторинга и контроля состояния окружающей среды и биологических объектов; исследования физико-технологических процессов в науке, технике и технологиях для повышения качества выпускаемых изделий радиопромышленности, приборостроения, аэрокосмического и топливно-энергетического комплексов, электроники и вычислительной техники и др.

Издание предназначено для студентов, аспирантов, ученых и научных сотрудников, заинтересованных в исследовании надежности и качества эффективных комплексных систем.

УДК 621.396.6:621.315.616.97:658:562

Оргкомитет благодарит за поддержку в организации и проведении Международного симпозиума и издании настоящих трудов Министерство науки и высшего образования РФ, Правительство Пензенской области, Академию проблем качества РФ, Российскую академию космонавтики имени К. Э. Циолковского, Российскую инженерную академию, ФИЦ ИУ РАН (Вычислительный центр РАН имени А. А. Дородницына), АО «УПКБ “ДЕТАЛЬ”», АО «НИИФИ», АО «ПНИЭИ», АО «НПП “РУБИН”», АО «РАДИОЗАВОД», АО «ППО “ЭЛЕКТРОПРИБОР”», АО «ФНПЦ «ПО “СТАРТ” имени М. В. Проценко», АО «НИКИРЭТ», ООО «Экспериментальная мастерская “НаукаСофт”», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Пензенский государственный университет.

Издание зарегистрировано в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) с 2005 г.

Редакционная коллегия:

Юрков Н. К. – главный редактор;
Трусов В. А. – ответственный секретарь;
Гуляков А. Д., Майстер В. А., Северцев Н. А., Сыдыков Е. Б., Абрамов О. В., Артамонов Д. В., Безродный Б. Ф., Бецков А. В., Васин С. М., Дивеев А. И., Иофин А. А., Каштанов В. А., Кемалов Б. К., Острейковский В. А., Пиганов М. Н., Роберт И. В., Романенко Ю. А., Савченко В. П., Садыхов Г. С., Увайсов С. У., Халютин С. П., Шайко-Шайковский А. Г., Шахнов В. А., Якимов А. Н.

ISSN 2220-6418

© Пензенский государственный университет, 2024

ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

УДК 744.44

Токарева[1] О.В., Пустовалов[2] И.А.

[1,2] Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

[1] oliatok@mail.ru

[2] ilya_pustovalov_2020@bk.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТИПОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ В «КОМПАС-3D» В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Аннотация. Рассматриваются вопросы использования системы автоматизированного проектирования «Компас-3D» при изучении дисциплины «Инженерная графика».

Ключевые слова: инженерная графика, образовательный процесс, система автоматизированного проектирования «Компас-3D», библиотеки конструктивных элементов, возможности системы автоматизированного проектирования

Tokareva[1] O.V., Pustovalov[2] I.A.

[1,2] Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

[1] oliatok@mail.ru,

[2] ilya_pustovalov_2020@bk.ru

FEATURES OF THE USE OF STANDARD STRUCTURAL ELEMENTS OF PARTS IN COMPAS-3D IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Annotation. The issues of using the computer-aided design Kompas-3D system in the study of engineering graphics discipline are considered.

Keywords: engineering graphics, educational process, Kompas-3D computer-aided design system, libraries of structural elements, computer-aided design capabilities

Введение

В современном образовательном процессе без использования информационных технологий трудно представить условия, позволяющие обучающимися приобрести знания и умения для формирования квалифицированного и конкурентоспособного специалиста. Подход к обучению, выработанный на кафедре механики и инженерной графики Академии ГПС МЧС России при реализации дисциплины «Инженерная графика», позволяет сформировать у обучающихся требуемые информационные компетенции. Благодаря этому возможна интеграция их профессиональных навыков в современное глобальное цифровое пространство [1-4]. В рамках вышеупомянутой учебной дисциплины, основным инструментом цифрового образования является национальный флагман – импортонезависимая система автоматизированного проектирования (САПР) – «КОМПАС-3D» [5]. Аудиторные занятия по дисциплине «Инженерная графика» отличаются спецификой проведения и предполагают использование различных методов подготовки, поскольку обучающимся целесообразно сочетать методы и формы организации образовательного процесса, чтобы достичь наибольшего эффекта от их использования [6-8]. САПР «Компас-3D», внедряемая в современный учебный процесс, делает операцию проектирования изделий более эффективной и производительной за счет выполнения множества операций (вставка в чертеж, деталь, сборку стандартных компонентов и изделий, выполнение типовых расчетов и т.д.) с использованием специальных прикладных библиотек. При этом все библиотеки «Компас-3D» соответствуют актуальным российским стандартам.

Плановое изучение учебной дисциплины «Инженерная графика» будущими инженерами пожарной безопасности позволяет использовать накопленный опыт для оценки преимуществ и недостатков программного продукта «Компас-3D» в рамках учебного процесса.

Большинство графических задач, которые изучаются на практических занятиях, имеют фронтальный характер (решение задачи у доски), в процессе которого даются пояснения, о теоретических основах курса, ознакомление со способами решения задач и правилами оформления чертежей [9].

Возможность выполнить 2D-чертежи машиностроительных деталей, используя программу «Компас-3D», существенно упрощает процесс выполнения чертежей с помощью библиотек, где заложены практически все стандартные конструктивные и технологические элементы деталей. Библиотека предназначена для получения информации о типовых элементах (стандартных изделиях, конструктивных элементах), для вставки изделий в документы «Компас-3D». Ключевые особенности библиотеки это быстрый доступ к содержанию, размещенному на тематических вкладках, наглядное представление элементов при помощи трехмерных моделей.

Для создания типовых конструктивных элементов деталей на чертеже в «Компас-3D» интегрирована система «ПОЛИНОМ:MDM Стандартные изделия». ПОЛИНОМ:MDM – это решение, которое позволяет управлять нормативно-справочной информацией промышленного предприятия, применяя единые инструменты, подходы и методы для работы с данными. Один из главных факторов эффективной деятельности современного промышленного предприятия – качественное управление нормативно-справочной информацией (НСИ), включающей в себя справочники, классификаторы, стандарты, регламенты и другие данные. Поддержка актуальной и проверенной информации помогает обеспечить корректную работу всех служб. [10] (рис.1).

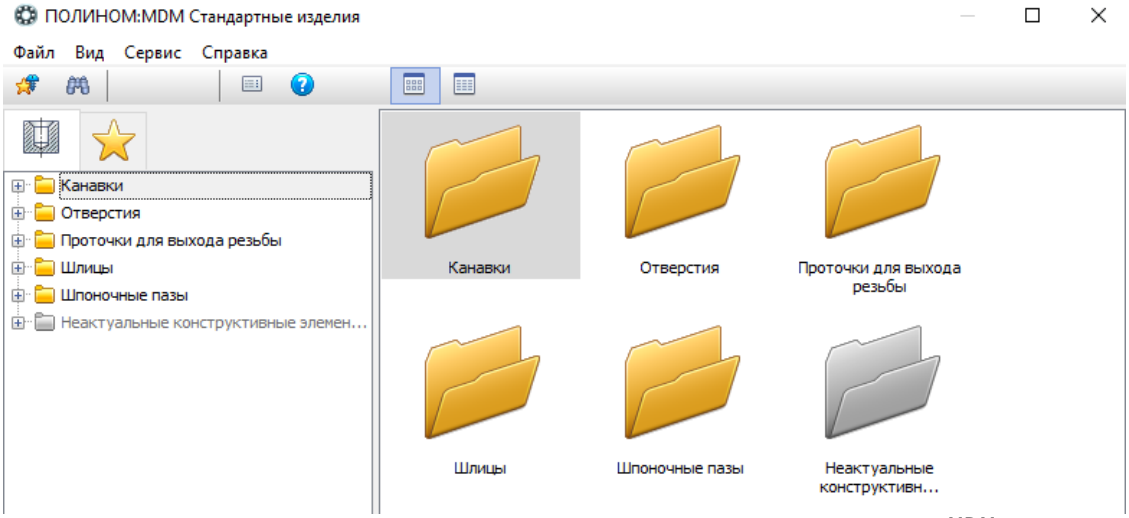


Рисунок 1 – Изображение интерфейса системы «ПОЛИНОМ:MDM»

Библиотека «Стандартных изделий» – это мощное и многофункциональное приложение, предназначенное для получения справочной информации о стандартных конструктивных элементах, а также для автоматической вставки этих элементов в документы системы КОМПАС-3D (чертежи, сборки, спецификации). Она позволяет загружать элементы стандартов ГОСТ, ОСТ, DIN, ISO, назначать для выбранных компонентов параметры, например, для проточки выхода резьбообразующего инструмента такими параметрами являются: тип проточки, размер проточки, диаметр резьбы, шаг резьбы.

Библиотека позволяет использовать команду «Найти» для поиска элементов: - по названию нужный конструктивный элемент (по заданному названию или фрагменту названия); - по обозначению; - по атрибутам.

Областью поиска может быть либо папка, либо вся Библиотека.

После того, как был найден нужный стандартный элемент, с ним можно выполнить следующие действия: вставка в чертеж, редактирование, замена другим (не обязательного того же типа), выбор материала для стандартного элемента, формирование набора наиболее часто используемых элементов (подкаталог «Избранное») и т.п. Например, отверстия можно создавать как в компонентах сборки, так и в отдельной детали. Стоит отметить, что при использовании стандартных отверстий из библиотек, коническое отверстие от сверла создается автоматически, и нет необходимости погружаться в тонкости метода получения глухих отверстий в деталях (рис. 2).

Обучающиеся имеют возможность автоматически выполнять несколько видов одного типового элемента, используя настройки отображения элемента. При этом есть возможность изменить режим детализации: «Стандартный» режим – позволяет выполнять изображения для сборочного чертежа, «Расширенный» режим – отображает больше информации на изображении чертежа детали (рис. 3).

Раздел «Конструкция и размеры» обеспечивает вариативность типоразмеров и параметров конструктивных элементов в соответствии с требованиями ГОСТов.

Перед выводом сформированного элемента на рабочую область появилась возможность его предварительного отображения в окне «Изображения» или «Чертежа».

Также для большинства конструктивных элементов существуют 3D-модели и параметрические изображения элементов крепежных изделий, что облегчает выбор и работу с данным инструментом.

Однако при формировании конструктивного элемента в виде макроэлемента в «Компас-3D» возникают некоторые неточности в построениях, например:

- некорректное изменение размерных и выносных линий, стрелок, размерных чисел, а также шага штриховки;

- изменения базового размера характеристики элемента.

На рисунке 4 показано, как выглядит конструктивный элемент канавка при масштабировании равном 4:1 (выполнено с помощью библиотеки):

- изменились отдельные размерные числа, в результате чего информация об объекте не соответствует действительности;
- не скорректировался шаг штриховки в заштрихованной области.

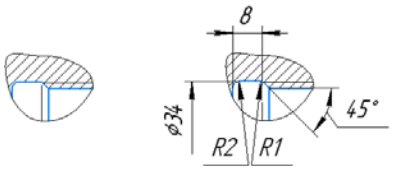
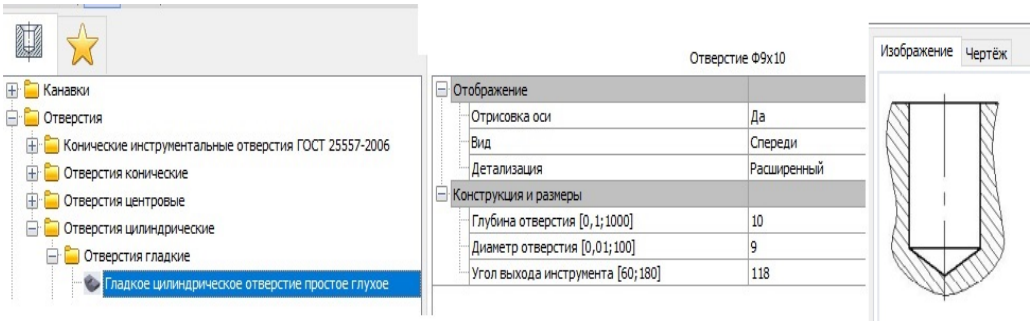


Рисунок 2 – Использование библиотеки раздела «Отверстия»



а б

Рисунок 3 – «Стандартный» режим отображения детали (а); «Расширенный» режим отображения детали (б)

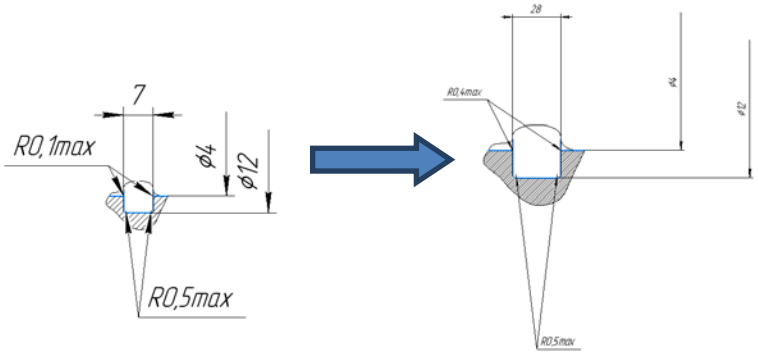


Рисунок 4 – Изображение некорректного изменения фрагмента чертежа при масштабировании

Заключение

Подводя итог вышеизложенному, можно утверждать, что в большинстве своем «Библиотека стандартных изделий» это мощный и удобный инструмент в руках инженера. Богатый набор всевозможных стандартных компонентов, удобная система поиска, хранения и доступа к наиболее часто используемым элементам позволят еще больше ускорить построение сложных чертежей в Компас-3D.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов Ф.М. Психологический мониторинг формирования духовно-нравственных ценностей у студентов ВУЗа. Человеческий капитал. 2016. № 5(89). С. 55-57.

2. Прохоров В.Ю. Итоговая государственная аттестация: учеб. пособие // В.Ю. Прохоров, В.В. Быков, И.Г. Голубев, М.И. Голубев, А.С. Назаренко. – М. : ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2013. 211 с.

3. Осипов Ф.М. Ценностные ориентации воспитательной системы ВУЗа. Человеческий капитал. 2013. № 2 (50). С. 38-40.

4. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Воспитательная работа с молодежью в организациях среднего профессионального образования. Тренинг как метод активного обучения. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2021. Т. 1. С. 238-240.

5. Пустовалов И.А. Создание библиотек в системе автоматизированного проектирования «Компас-3d» для оформления документации в области пожаротушения / И.А. Пустовалов, Д.В. Фролов, О.В. Токарева // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново. 2024.

6. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Помощник в образовательном процессе среднего профессионального обучения. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т.1. С. 315-317.

7. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Современные технологии обучения. Метод Case Study в преподавании технических дисциплин. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2020. Т. 1. С. 212.

8.Макарова И.А., Прохоров В.Ю. STORITELLING как современная стратегия преподавания. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 2. С. 149-151.

9. Токарева О.В., Абразумов В.В. Методика преподавания инженерной графики в Академии государственной противопожарной службы МЧС России. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023.

10. Группа компаний «ПЛМ Урал»: [Электронный ресурс]. URL: https://www.plm-ural.ru/polinommdm?ysclid=lu1ijxqrzu742218407 (дата обращения 21.03.2024).

УДК 621.316

Бакытжан[1] Н.Б., Раймбеков[2] Ж.Е., Калиев[3] А., Невокшанов[4] В.Б., Ануар[5] Г.А., Рыбаков[6] И.М., Супалдьяров[7] А.Г., Бейсембаева[8] Б.С.

[1,2,3,4,5,6,7,8] Пензенский государственный университет, Пенза

[1] kipra@pnzgu.ru

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ НА РАБОТУ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Аннотация. Электроприборы и оборудование предназначены для работы в определенной электромагнитной обстановке. Электромагнитная обстановка, система электроснабжения и подключенные к ней электроприборы и оборудование рассматриваются как связанные проводники и создают большие или меньшие помехи, отрицательно влияющие на работу друг друга. Возможность нормальной работы оборудования в существующей электромагнитной обстановке говорит об электромагнитной совместимости технических мероприятий. Единые требования к электромагнитной обстановке определяются стандартами, которые позволяют создавать оборудование и гарантировать его работу в условиях, соответствующих этим требованиям.

Ключевые слова: конструкция, элементы, микроэлектроника, надежность, работоспособность

Bakytzhan[1] N.B., Raimbekov[2] J.E., Kaliev[3] A., Nevokshanov[4] V.B., Anuar[5] G.A., Rybakov[6] I.M., Supaldyarov[7] A.G., Beisembayeva[8] B.S.

[1,2,3,4,5,6,7,8] Penza State University, Penza, Russia

[1]kipra@pnzgu.ru

ANALYSIS OF THE EFFECT OF SUPPLY VOLTAGE ON THE OPERATION OF STRUCTURAL ELEMENTS MICROELECTRONIC DEVICES

Annotation. Indicators of the quality of electrical equipment. Electrical appliances and equipment are designed to operate in a specific electromagnetic environment. The electromagnetic environment, the power supply system and the electrical appliances and equipment connected to it are considered as connected conductors and create greater or lesser interference, negatively affecting each other's operation. The possibility of normal operation of the equipment in the existing electromagnetic environment indicates the electromagnetic compatibility of technical measures. Uniform requirements for the electromagnetic environment are established by standards that allow you to create equipment and guarantee its operation in conditions that meet these requirements.

Keywords: construction, elements, microelectronics, reliability, operability

Введение

Этот критерий определяет допустимый уровень ухудшения качества электроэнергии в электрической сети, называемый индексом качества электроэнергии (EQI), который характеризует качество электроэнергии (QE). Требования к региональному качеству электроэнергии определены в международном стандарте "Электричество". Электромагнитная совместимость технических средств Электромагнитная совместимость технических средств - критерий качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения, определенный в ГОСТ 13109-97. К основным показателям качества электроэнергии относятся: - Отклонение напряжения относительно программы работы нагрузки; - Колебания напряжения при быстром изменении нагрузки; - Асимметрия напряжения в трехфазных системах с несимметричным распределением фаз нагрузки; - Несинусоидальный характер формы кривой напряжения в случае нелинейных нагрузок; - Отклонение фактической частоты переменного напряжения от номинального значения в установившемся режиме работы системы электроснабжения. Падение напряжения - внезапное значительное падение напряжения (110% от R_{nom} <%90'ı); - Длительностью от нескольких часов до нескольких десятков секунд; - Импульсные перенапряжения - внезапные скачки напряжения, достигающие тысячи вольт менее чем за 10 миллисекунд.

Причины, вызывающие ухудшение КЭ. Примерами могут служить аварии на подстанциях, короткие замыкания в распределительной сети, молнии, коммутационные помехи, неравномерное распределение нагрузки по фазам, внезапные отключения электроэнергии, срабатывание аппаратуры защиты и автоматики, электромагнитные возмущения и помехи в сети из-за работы мощных нагрузок. Рассмотрим на примере отклонений напряжения от номинальных значений, которые угрожают электрооборудованию сверх допустимых значений: ГОСТ определяет нормальные и предельно допустимые значения установившихся отклонений напряжения на зажимах электроприемников в пределах Uynor=±5% и Uypre=±10% от номинального напряжения сети соответственно.

Очевидно, что даже если работа электрооборудования находится в пределах допустимых значений, они значительно сокращают срок его службы, снижают эффективность работы и часто приводят к неисправностям. В конечном итоге это приводит к деградации изоляции, включая ускоренное старение из-за нагрева, вызванного низкими напряжениями, искажение симметрии и полное искажение фаз из-за внезапного и значительного повышения напряжения.

Анализ влияние отклонения напряжения на электрооборудование Таблица 1

Электрооборудования	Снижение на 10% от Uн	Превышение на 10% от Uн
электрооборудования Момент электрооборудования изменяется пропорционально квадрату напряжения	Момент электрооборудования снижается на 19%. Температура повышается на 70С. Увеличивается время пуска. Скольжение повышается на 27,5%, ток механизма - на 14%, ток устройства 10%.	Увеличенный момент электрооборудования, служит причиной перегрузки валов, ременных передач, увеличивается пусковой удар. Пусковой ток повышается на 12%, работы момент на 21%, коэффициент мощности снижается на 5%.
Осветительные приборы (лампы накаливания, люминесцентные, инфракрасные, ртутные, газонаполненные, балластные сопротивления, стартеры, конденсаторы) Срок службы ламп накаливания изменяется пропорционально напряжению в степени 13,1, светоотдача - 3,4, светоотдача на 1кВт-час - в степени 1,8	Для нормального освещения потребуется на 30% больше ламп накаливания, на 15% - люминесцентных. Световой поток снижается на 10%.	Срок службы ламп накаливания снижается в 2,5 раза. Возрастает температура балластных сопротивлений, инфракрасные источники света увеличивают выделение тепла на 21%.
Электронная аппаратура Срок службы электронных компонентов сокращается в 4 раза. Возникают ошибки цифровой техники. Выходит из строя программное обеспечение.	Тиратроны выходят из строя в течение нескольких минут	Сгорают сетевые фильтры, блоки питания, адаптеры

Контроллеры, специализированные микросхемы, сегодня широко используются при построении микропроцессорных систем. Контроллеры формируют сигналы сброса при включении и выключении питания, скачках и провалах напряжения в сети, защищают оперативную память от записи некорректных данных, предупреждают о возможных сбоях в электропитании, переходят с резервного аккумулятора на источник питания, выполняют функции сторожевого таймера и т. д. Эти функции необходимы для микропроцессорных систем, поскольку гарантируют устойчивость к ошибкам, связанным с отказами цепей питания. Некоторые из этих функций реализованы в микропроцессорах, но эти микропроцессоры не всегда могут самостоятельно диагностировать свои неисправности. Чтобы сделать систему эффективной и надежной, цепи контроля питания должны быть доступны во внешней ИС контроллера.

Функции, выполняемые супервизором. Описанный выше метод формирования сигнала сброса при подаче напряжения питания прост, но не всегда работает надежно. Если напряжение питания системы растет относительно медленно, простая RC-цепь не сможет сформировать сигнал сброса с требуемым коротким временем фронта. Контрольные схемы формирования сигнала сброса включают источник опорного напряжения, компаратор, таймер и буферный элемент, который генерирует сигнал сброса.

МП (MCU) должен работать до тех пор, пока напряжение питания находится в допустимых пределах. Для обеспечения надежной работы системы необходимо следить за провалами напряжения питания. Падение напряжения питания редко оказывает катастрофическое воздействие на аппаратуру, но непредсказуемое поведение MCU может привести к сбою программы. При восстановлении напряжения питания программа также будет работать некорректно, и нормальная функциональность системы не будет восстановлена. Поэтому МП (MCU) должен быть перезапущен с помощью сигнала сброса от внешнего устройства (контроллера).

В случае сбоя питания или непредсказуемого поведения MF (MCU) в оперативную память системы может быть записана лишняя информация ("мусор"). Это приводит к потере данных и не может быть восстановлено последующим сбросом. Для предотвращения таких потерь контроллеры имеют возможность подавлять сигнал разрешения памяти при провалах и скачках напряжения питания.

ИС DRAM обычно питаются от того же источника питания, что и МП (MCU). Если после сбоя питания необходимо сохранить большой объем данных, а флэш-память недоступна, в системе предусмотрена ИС ОЗУ с резервным питанием. Как только микропроцессорная система выключается, ОЗУ подключается к резервной батарее, сохраняет ее содержимое и потребляет от нее очень малый (до нескольких мкА) ток. Поэтому при отключении сетевого питания контроллер также подключается к резервной батарее.

Для надежной защиты может потребоваться не только обнаружение низкого напряжения и генерация сигнала сброса. Это связано с тем, что для организованного отключения могут потребоваться другие действия, прежде чем будет сгенерирован сигнал сброса. Например, МП (MCU) может потребоваться сохранить содержимое определенных регистров в энергонезависимой памяти перед выключением или перезагрузкой. Такая операция возможна при наличии большого конденсатора перед

стабилизатором источника питания. Поскольку напряжение на конденсаторе на несколько вольт выше, чем напряжение питания системы, после отключения входного напряжения система может работать еще некоторое время за счет энергии, накопленной в конденсаторе. Контролируя напряжение конденсатора, можно получить сигнал раннего предупреждения о сбое питания. Этот сигнал обычно подается на вход немаскируемого прерывания и позволяет МП (MCU) подготовиться к запрограммированному выключению. Сторожевой таймер, реализованный в супервизоре, несколько отличается от аналогичных устройств в МК: МК должен периодически записывать информацию в специальный регистр, чтобы предотвратить срабатывание сторожевого таймера, а супервизор периодически получает сигнал от МП (МК) и должен принимать сигнал от МП (МК) для проверки нормальной работы. Если напряжение питания увеличивается, в ИС может произойти аппаратный сбой.

Если питание падает, а МП (МК) ведет себя непредсказуемо, в системную оперативную память может быть записана лишняя информация (мусор). Это может привести к потере данных, которые невозможно восстановить последующим сбросом. Хотя перепады напряжения питания редко оказывают катастрофическое воздействие на аппаратуру, непредсказуемое поведение микропроцессора может привести к сбою программы. Даже если напряжение питания будет восстановлено, программа не будет выполняться должным образом, то есть нормальная работа системы не будет восстановлена. Поэтому микропроцессор должен быть перезапущен по сигналу сброса от внешнего устройства или защищен от колебаний напряжения внешним аппаратным устройством.

Заключение. Увеличение потребления электроэнергии предприятиями и интенсификация энергопотребления бытовыми потребителями привели к росту числа инцидентов на сетях железнодорожного транспорта. Возникает острая необходимость в разработке защитных устройств, устанавливаемых непосредственно у потребителя, с набором функций, обеспечивающих полную и надежную защиту. Требования к качеству электрической энергии на территории России определены межгосударственным стандартом "Электрическая энергия.

Электромагнитная совместимость технических средств. Она определяется "Стандартом на качество электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения". К основным показателям качества электрической энергии относятся - Отклонения напряжения, связанные с программой работы нагрузки; - Колебания напряжения при резких колебаниях нагрузки; - Асимметрия напряжения в трехфазных системах, когда нагрузки распределены несимметрично относительно фазы; - несинусоидальный характер формы кривой напряжения в случае нелинейных нагрузок; - Отклонение фактической частоты переменного напряжения от номинального значения в установившемся режиме работы системы электроснабжения. Падение напряжения - внезапное значительное падение напряжения (110% от Unom <%90'ı); - Длительностью от нескольких часов до нескольких десятков секунд; - Импульсные перенапряжения - внезапные скачки напряжения, достигающие тысячи вольт менее чем за 10 миллисекунд.

Существует множество причин нарушения КЭ. К ним относятся аварии на подстанциях, короткие замыкания в распределительной сети, молнии, коммутационные повреждения, неравномерное распределение нагрузки по фазам, внезапные разряды, срабатывание устройств защиты и автоматики, электромагнитное излучение и нарушения в сети из-за работы мощных нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березнев, В. А. Алгоритм управления роботом в условиях приближенного позиционирования / В. А. Березнев, И. В. Прокопьев // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. - Т. 1. - С. 49-51. - EDN GFBEPY.

2. Абразумов, В. В. Анализ контактных явлений в микрообласти резания при обработке древесных композитов на минеральных вяжущих / В. В. Абразумов, С. В. Фролов, Б. Л. Спирин // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. - Т. 2. - С. 106-109. - EDN EIQXUJ.

3. Ибрагимов, Б. Г. Исследования показателей надежности функционирования аппаратно-программных комплексов и канальных средств стеганографических систем при скрытии данных / Б. Г. Ибрагимов, К. М. Тахирова // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2022. - Т. 1. - С. 8-10. - EDN XPLOXK.

4. Состояние и тенденции развития генераторов, управляемых напряжением / Р. Р. Назирова, П. Г. Андреев, И. Ю. Наумова, А. Х. Ву // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2022. - Т. 2. - С. 50-52. - EDN CLJUBE.

5. Ключников, А. В. Конструктивный облик стенда для прецизионного определения параметров массо-инерционной асимметрии длинномерных тел методом динамической балансировки / А. В. Ключников // Надежность и качество сложных систем. - 2023. - № 1(41). - С. 106-117. - DOI 10.21685/2307-4205-2023-1-13. - EDN KVNKNE.

6. Ильин, А. С. Делитель напряжений высоковольтный ДНВ-140И для информационно-измерительных систем / А. С. Ильин, И. А. Карчев, А. П. Воронов // Надежность и качество сложных систем. - 2022. - № 1(37). - С. 108-114. - DOI 10.21685/2307-4205-2022-1-12. - EDN CRIFSX.

УДК 621.316.925

Бакытжан[1] Н.Б., Раймбеков[2] Ж.Е., Калиев[3] А., Плотников[4] Д.В., Ануар[5] Г.А., Рыбаков[6] И.М.

[1,2,3,4,5,6] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Аннотация. Анализ функциональной схемы устройства показал, что для его реализации необходим контроллер с двумя полными 8-битными портами и одним усеченным портом. Этим требованиям удовлетворяет микроконтроллер PIC16F873. Предлагаемое устройство разработано на базе 28-контактного микроконтроллера PIC16F873 с 10-разрядным аналого-цифровым преобразователем. Микроконтроллер можно рассматривать как компьютер на одной микросхеме. Поэтому основными его достоинствами являются малые размеры, высокая производительность, надежность и возможность адаптации к выполнению различных задач.

Ключевые слова: конструкция, микроэлектроника, надежность, анализ функционирования схем, контроль напряжения

Bakytzhan[1] N.B., Raimbekov[2] J.E., Kaliev[3] A., Plotnikov[4] D.V., Anuar[5] G.A., Rybakov[6] I.M.

[1,2,3,4,5,6] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

DESIGN FEATURES OF A MICROELECTRONIC VOLTAGE MONITORING DEVICE

Annotation. An analysis of the functional scheme of the device showed that its implementation requires a controller with two full 8-bit ports and one truncated port. The PC16F873 microcontroller meets these requirements. The proposed device is based on a 28-pin PC16F873 microcontroller with a 10-bit ADC. A microcontroller (MC) can be considered as a computer on a single chip. Therefore, its main advantages are small size, high performance, reliability and the ability to adapt to various tasks.

Keywords: design, microelectronics, reliability, analysis of the functioning of circuits, voltage control

Введение

Помимо центрального процессора, микроконтроллеры содержат память и многочисленные устройства ввода-вывода (например, аналогово-цифровые преобразователи, последовательные/параллельные каналы передачи данных, таймеры реального времени, широтно-импульсные модуляторы (ШИМ) и программируемые генераторы импульсов). Основное применение - автоматическое управление, встроенное в разнообразное оборудование, такое как кредитные карты, фотоаппараты, мобильные телефоны, музыкальные центры, телевизоры, видеомагнитофоны, видеокамеры, стиральные машины, микроволновые печи, системы охранной сигнализации, системы зажигания бензиновых двигателей, электроприводы локомотивов, ядерные реакторы. Это автоматические системы управления. Встраиваемые системы управления стали настолько популярным явлением, что сформировалась новая отрасль под названием "встраиваемые системы".

Выбор типа микроконтроллера

МК ATMEL достаточно популярны, а их функциональные возможности охватывают все вышеперечисленные задачи. Реализацию МК можно разделить на два этапа: первый - программирование, когда пользователь разрабатывает программу и закладывает ее непосредственно в кристалл; второй - согласование запрограммированного МК с разработанным исполняющим устройством. На первом этапе отладку программы значительно облегчают симуляторы, наглядно моделирующие работу микропроцессора. Отладка на втором этапе предполагает использование внутрисхемных эмуляторов, которые являются сложными и дорогостоящими устройствами, обычно недоступными рядовому пользователю. В то же время в литературе мало внимания уделяется проблеме обучения программированию дешевых МК совместно с реальными исполнительными устройствами.

Разработка макета

Простые, легко читаемые и недорогие программаторы стали необходимы для программирования кристаллов кварца, а также для наглядного обучения широкого круга пользователей основам программирования МК.

Сегодня микроконтроллеры становятся все более популярными. Однако информации об обучении программированию микроконтроллеров применительно к внешним исполнительным устройствам недостаточно.

В данной статье рассматривается архитектура, аппаратное и программное обеспечение распространенных и недорогих микроконтроллеров. Анализ методов программирования в интегрированной среде разработки позволил совместить практические рекомендации со спецификой обучения программированию микроконтроллеров. На этой основе предложен алгоритм обучения.

Представлен макет программиста, позволяющий как программировать, так и обучать. Программисту предлагается набор типовых задач, которые могут быть выполнены на дочерней плате внешних устройств, подключенных через соответствующие порты.

Также приведены решения четырех типовых задач, работающих с памятью, дисплеем, устройствами "кодового замка" и тональным частотомером. В приложении приведены текст программы и справочные данные для микроконтроллера AVR.

Представьте себе весь спектр современных микроконтроллеров (МК), и вы будете поражены множеством различных устройств этого класса, доступных потребителям. Однако все эти микроконтроллеры можно разделить на следующие основные типы

Встраиваемые 8-разрядные МК; 16- и 32-разрядные микроконтроллеры Цифровые сигнальные процессоры.

Промышленность выпускает широкий спектр встраиваемых МК. В этих изделиях все необходимые ресурсы (память, устройства ввода-вывода и т.д.) располагаются на одном кристалле с процессорным ядром [3]; при подаче питания и тактовых импульсов на соответствующие входы МК, МК "оживает" и с ним можно работать. Обычно МК содержат значительное количество вспомогательных устройств, чтобы их можно было интегрировать в реальные системы с минимальным количеством дополнительных компонентов. К таким устройствам МК относятся: Схема начальной инициализации процессора (сброс); Генератор тактовых импульсов; Центральный процессор; Память программ (E(E)PROM) и программный интерфейс; Средства ввода/вывода данных;

Таймер для стабилизации количества циклов выполнения команд.

Общая структура MCU показана на рисунке 1. Эта структура показывает, как МК взаимодействует с внешним миром.

Более сложные встраиваемые МК могут реализовывать большее количество следующих функций Встроенный монитор/отладчик программ; Функции программирования внутренней памяти программ (ПЗУ); Обработка прерываний от различных источников Аналоговый ввод/вывод; Последовательный ввод/вывод (синхронный и асинхронный); Параллельный ввод/вывод (включая компьютерный интерфейс); Подключение внешней памяти (режим микропроцессора).

Эти возможности значительно повышают гибкость приложений МК и облегчают разработку систем на основе приложений МК.

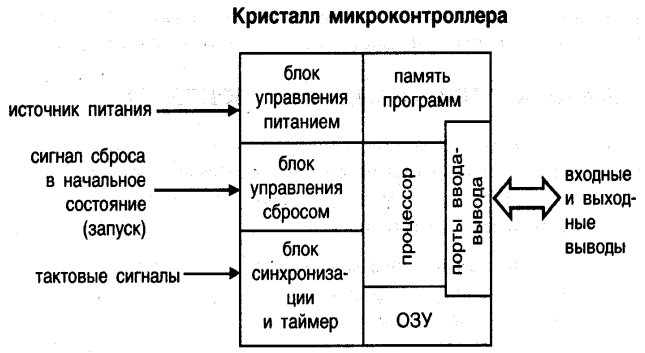


Рисунок 1 - Структура микроконтроллера

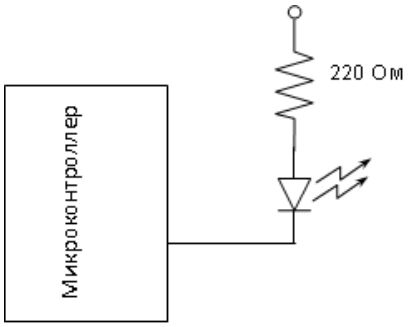


Рисунок 2 - Подключение светодиода к микроконтроллеру

Некоторые микроконтроллеры (особенно 16- и 32-разрядные) используют только внешнюю память, которая включает в себя как память программ (ROM), так и память данных (RAM), необходимую для работы приложения. Они используются в системах, где требуется большой объем памяти и относительно небольшое количество устройств ввода-вывода (портов). Типичным примером такой микросхемы с внешней памятью является контроллер жесткого диска (HDD) с буферным кэшем, обеспечивающим промежуточное хранение и распределение больших объемов данных (порядка нескольких мегабайт). Внешняя память позволяет таким микроконтроллерам работать быстрее, чем встроенным МК.

Цифровые сигнальные процессоры (DSP) - относительно новая категория процессоров: Цель DSP - получить данные от аналоговой системы, обработать их и выдать соответствующий ответ в режиме реального времени. Как правило, DSP являются частью системы и используются в качестве управляющих устройств для внешнего оборудования, а не предназначены для автономного применения.

Типичная схема подключения светодиодов к выводам ИС показана на рисунке 2. В этой схеме светодиод включается, когда МК выдает сигнал "0" (низкое напряжение). Если вывод работает как вход данных или выдает "1", светодиод выключается.

Конвейерная обработка может быть использована для сокращения времени машинного цикла. Например, в микроконтроллерах PIC компании Microchip конвейеризация позволила сократить время машинного цикла до четырех периодов кварцевого кристалла. Время машинного цикла AVR составляет один период кварцевого кристалла.

Поэтому AVR может достичь определенной производительности при более низкой тактовой частоте. Как известно, энергопотребление КМОП-чипов определяется рабочей частотой, поэтому именно эта особенность архитектуры позволяет микроконтроллеру AVR иметь наилучшее соотношение мощность/производительность.

Для ограничения тока используется резистор 220 Ω, так как слишком большой ток приведет к разрушению микросхемы и светодиодов. Некоторые МК имеют внутренний ограничитель тока на выходе и не требуют ограничительного резистора. Однако рекомендуется добавить этот резистор, чтобы короткое замыкание на землю или напряжение питания Vcc не привело к выходу МК из строя.

Семи сегментный индикатор

Самый простой способ извлечь числовые данные в десятичной или шестнадцатеричной форме - использовать семисегментный индикатор (SSI). Такие индикаторы были очень популярны в 1970-х годах, но с тех пор их заменили жидкокристаллические дисплеи (ЖК-дисплеи). Тем не менее, светодиодные индикаторы остаются полезным устройством, которое можно интегрировать в схемы без необходимости написания программного обеспечения. Десятичные числа можно отображать путем включения определенных светодиодов (светящихся сегментов) (см. Рисунок 3).

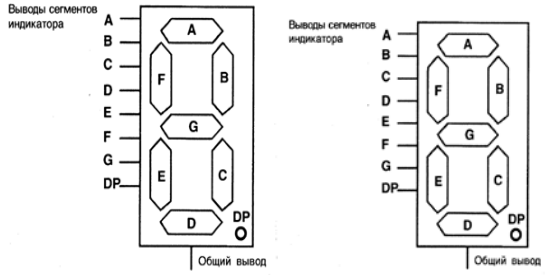


Рисунок 3 - Семи сегментный индикатор

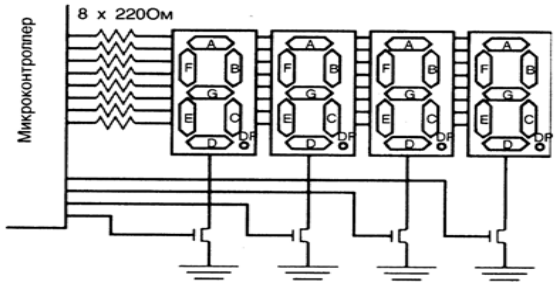


Рисунок 4 - Подключение к МК четырех ССИ

Каждый светодиод в дисплее имеет свой буквенный идентификатор (A, B, C, D, E, F, G) и одна ножка светодиода подключена к соответствующему внешнему выводу. Вторая ножка всех светодиодов соединена вместе и с общим выводом. Этот общий вывод определяет тип индикатора: общий катод или общий анод.

Подключение индикатора к МК очень простое: обычно индикатор подключается как семь или восемь (если используются десятичные точки) независимых светодиодов. Наиболее важной задачей при подключении нескольких SSI к МК является назначение входных и выходных линий для каждого светодиода. Решение этого вопроса в начале проекта облегчит монтаж проводки и отладку устройства в дальнейшем. Типичным методом подключения нескольких светодиодов является их параллельное включение и управление током, протекающим через общие выводы каждого светодиода. Величина этого тока обычно превышает допустимый выходной ток МК, поэтому для управления глазком и выбора активного индикатора включается дополнительный транзистор. На рисунке 4 показано подключение четырех SSI к МК. В этой схеме МК выводит данные на дисплей, последовательно переключаясь с одного индикатора на другой.

Заключение. Каждая цифра отображается на очень короткое время. Обычно для этого используется подпрограмма обслуживания прерываний таймера. Чтобы избежать мерцания, эта подпрограмма должна выполняться с такой скоростью, чтобы индикатор загорался не менее 50 раз в секунду. С увеличением количества цифр частота прерываний таймера также увеличивается. Например, если используется восемь SSI, то цифры должны загораться 400 раз в секунду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системный подход к классификации беспилотных летательных аппаратов / Н. Д. Кошелев, А. Г. Избасов, Н. А. Кузин [и др.] // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. - Т. 1. - С. 103-108. - EDN SPQCYL.

2. Половов, С. А. Анализ свойств хромоникелевых тонких пленок, полученных методом магнетронного распыления / С. А. Половов, В. А. Соловьев // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. - Т. 2. - С. 131-138. - EDN EBNGAS.

3. Белоусов, И. В. Критерий оптимальной широтно-импульсной модуляции в системе преобразователь - двигатель / И. В. Белоусов, В. Ф. Самосейко, А. В. Саушев // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2022. - Т. 1. - С. 34-36. - EDN SJFRJH.

4. Листюхин, В. А. Эксплуатационные особенности воздушных линий электропередачи / В. А. Листюхин, Е. А. Печерская, П. Е. Голубков // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2022. - Т. 2. - С. 155-156. - EDN HDKCKT.

5. Недопекин, Н. В. Оценка влияния температуры окружающей среды на режимы работы резонатора волнового твердотельного гироскопа / Н. В. Недопекин // Надежность и качество сложных систем. - 2023. - № 1(41). - С. 126-132. - DOI 10.21685/2307-4205-2023-1-15. - EDN ZRFDLP.

6. Оптимизация алгоритма имитации доплеровского рассеяния отраженного радиосигнала / В. К. Слизкой, А. С. Боков, Д. Ж. Нагашибаев, А. А. Иофин // Надежность и качество сложных систем. - 2022. - № 3(39). - С. 24-32. - DOI 10.21685/2307-4205-2022-3-3. - EDN VQDVUR.

УДК 621.3, 536.2

Вершинин Е.А
Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
kipra@pnzgu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ НА ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧАТНОГО УЗЛА

Аннотация. В данной научной статье рассмотрены наиболее распространённые виды жидких металлов, которые используются для снижения температурных характеристик нагревательного элемента. Результаты исследования представлены в виде таблицы, позволяющей осуществить выбор наилучшего варианта жидкого металла.

Ключевые слова: жидкий металл, теплопроводность, расчет, печатный узел, тепловые характеристики, композитные материалы, термоинтерфейс

Vershinin E.A.
Penza State University, Penza
kipra@pnzgu.ru

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF LIQUID METALS ON THE THERMAL CHARACTERISTICS OF THE PRINTING UNIT

Annotation. This scientific article discusses the most common types of liquid metals that are used to reduce the temperature characteristics of the heating element. The results of the study are presented in the form of a table that allows you to choose the best option of liquid metal.

Keywords: liquid metal, thermal conductivity, calculation, printed circuit assembly, thermal characteristics, composite materials, thermal interface

Введение

Одним из самых перспективных и интересных материалов для изготовления термоинтерфейсов в настоящее время является «жидкий металл». Наличие трех элементов, таких как: галлий-индий-олово с процентным содержанием (62, 25 и 13, соответственно), а так же наличием дополнительных присадокок в зависимости от производителя с температурой плавления около 5 °С и образует сплав.

Одним из критериев состояния металла, находящиеся в жидком состоянии, является температурный режим, который варьируется в диапазоне от 18 до 25 °С. Как правило, жидкие металлы – это сплавы, исполнением является ртуть. Во время процесса диффузии жидкий металл будет впитываться в медь, в результате чего образуется корка интерметаллидов, которая непосредственно будет находиться на границе металлов. С физической точки зрения интерметаллиды – не являются металлами, и в свою очередь и обладает плохой тепло- и электропроводностью, они хрупкие и тугоплавки, но самое главное в этом процессе, что жидкий металл будет расходоваться на их образование и уйдёт из зазора.

На физические свойства сплава изменение содержания компонентов на несколько процентов значительно не повлияют. Но существенно могут изменить его химическую активность и токсические свойства, наличие в его составе нового компонента. Это увеличение свойств теплопроводности, токсичности, безопасного применения

Рассмотрим достоинства и недостатки самого жидкого металл:

Достоинства:

Высокая теплопроводность, поскольку состоит на 100% из металла (сплавов).

Быстро рассеивает тепло и эффективно превосходит любую термопасту.

Долговечен. Используется один раз и на весь срок эксплуатации электрорадиоэлемента (ЭРЭ).

Соответствует требованиям RoHS (экологические требования в отношения радиоэлектронных средств (РЭС))

Недостатки:

Использовать жидкий металл можно и нужно только на чистой поверхности без остатков предыдущего термоинтерфейса (термопасты в данном случае)

Сложность установки.

Сложность замены жидкого металла.

Далее приведен обзор наиболее распространенных в настоящее время жидких металлов.

Термоинтерфейс ЖМ-6 - представляет собой эвтектический сплав из редких и цветных металлов особой чистоты. Основное назначение продукта - обеспечение теплового контакта между поверхностью центрального или графического процессора и теплосъемником водяной или воздушной системы охлаждения. Эффективность теплопередачи обусловлена главным образом высокой теплопроводностью сплава, его гомогенностью и низкой вязкостью, гарантирующей минимальную толщину слоя.

Coollaboratory Liquid Pro. Это - первый теплопроводящий состав, который состоит из 100%-ого жидкого металлического сплава. Это - жидкость при комнатной температуре (как ртуть), но она абсолютно нетоксична и имеет высокую способность к смачиванию многих материалов.



Рисунок 1 – ЖМ-6



Рисунок 2 – ***Coollaboratory Liquid Pro***



Рисунок 3 – ***Coollaboratory Liquid Ultra***

Coollaboratory Liquid Ultra жидкий металл с высокой теплопроводностью, которая содержит 100% металла и плавится только при нагреве ЭРЭ, это дает превосходную теплопроводность. Это снижает температуру быстро и эффективно и не должно скрыться от лучшей пасты проводимости высокой температуры. Простая, чистая и быстрая установка превращает ***Liquid MetalPad*** лучшую теплопроводящую среду для КТ и радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). В таблице 1.3.1 рассмотрим характеристики жидкого металла.

Технические характеристики жидких металлов Таблица 1

Название термопасты	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Плотность, г/см³	Диапазон рабочих температур, °С	Масса упаковки, г.
ЖМ-6	34	6,4	-200…+140	0,5
Coollaboratory Liquid Pro	80	6,85	-50…+120	4
Coollaboratory Liquid Ultra	38,4	6,85	-50…+120	4

На рисунках 1.3.4 и 1.3.5 показаны наглядно графические сведения о жидких металлах.

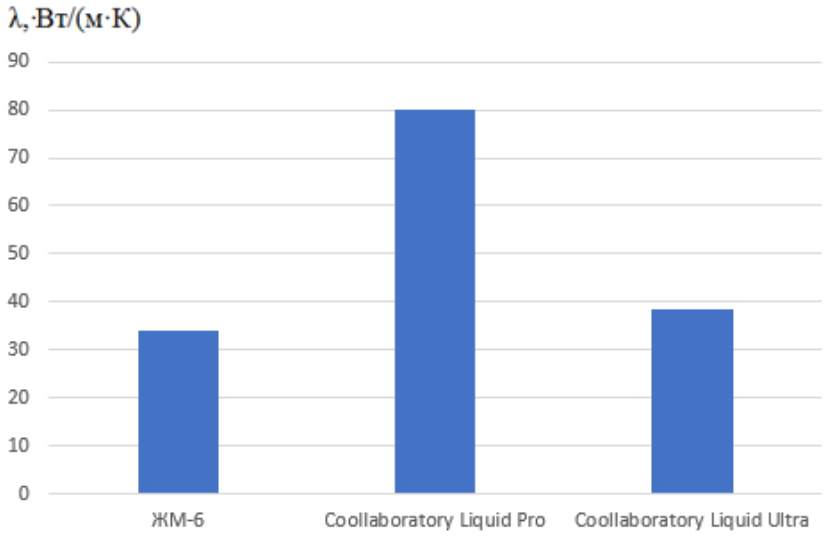


Рисунок 4 – Исследование парамертра теплопроводности жидких металлов

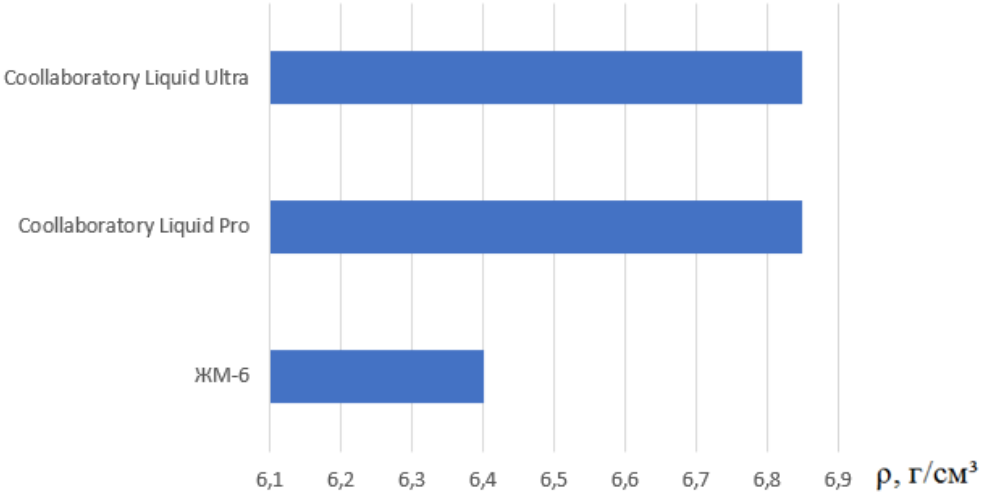


Рисунок 5 – Исследование параметра плотности жидких металлов

Заключение

Исходя из обзора жидких металлов, можно сделать следующие выводы: одним из главных параметров является высокий коэффициент теплопроводности и плотность термопрокладки, который стабильно держит температуру Анализ жидкого металла показал, что самый лучший жидкий металл по параметру плотности является ***Coollaboratory Liquid Ultra*** и ***Coollaboratory Liquid Pro***, самый худший ЖМ-6; самый лучший жидкий металл по параметру теплопроводность является ***Coollaboratory Liquid Pro,*** самый худший ЖМ-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Coollaboratory [Электронный ресурс]. URL: https://www.coollaboratory.com (дата обращения 12.09.22).
2. ЖМ-6 [Электронный ресурс]. URL: http://www.pcdesign.ru/tovar/130019.html (дата обращения 14.09.22).
3. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И. Металлогидридные термопрокладки – новый вид термоинтерфейсов для LED-кластеров // Полупроводниковая светотехника. No 6. 2015. Москва. – С.72-77.
4. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Высоканов А.А. Металлогибридные термоинтерфейсы с высокой теплопроводностью // Прикладная физика. No1. 2017. Москва. – С.85-89.
5. Сакуненко Ю. И., Кондратенко В. С. «Устройство отвода тепла от тепловыделяющих элементов». Заявка на изобретение. Рег. в Роспатенте № 2015129660 от 21.07.2015.

УДК 681.3

Бакытжан[1] Н.Б., Раймбеков[2] Ж.Е., Калиев[3] А., Бычкова[4] К.С., Ануар[5] Г.А., Рыбаков[6] И.М.

[1,2,3,4,5,6] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

ОБЗОР И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ РЕАЛИЗАЦИИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Аннотация. Сеть связи - это комплекс технических средств, обеспечивающих обмен информацией по каналам связи между территориально удаленными объектами и являющийся обобщением системы связи при наличии большого количества отправителей и получателей информации. В настоящее время во всем мире строятся сети связи со сложной структурой, что обусловлено как целями и необходимыми характеристиками сети, так и техническими возможностями средств, используемых для ее реализации. В общем случае сети связи включают в себя узлы (абоненты и сосредоточения, коммутация, маршрутизация и ретрансляция информационных потоков) и различные типы каналов связи. Принцип пространственной коммутации каналов, сообщений и пакетов является основополагающим при построении сетей связи. В сетях, построенных по принципу коммутации каналов, отправитель заранее посылает вызов, который проходит через несколько узлов коммутации, в результате чего между отправителем и получателем устанавливается сквозной канал (канал связи и цепочка промежуточных узлов сети). Эта цепочка коммутации остается неизменной на протяжении всего времени соединения (сеанса связи). При коммутации сообщений каждое сообщение передается последовательно от одного узла сети к другому в направлении получателя, поочередно занимая канал по пути следования на время прохождения этого сообщения. Для промежуточного хранения данных узлы в таких сетях должны иметь в своем составе буферную память, которая служит для согласования скорости поступления информационного потока и скорости передачи информации по каналу связи устройства. Коммутация пакетов осуществляет передачу в сеть пакетов определенного объема, предварительно фрагментируя каждое сообщение, а переданное сообщение восстанавливается из полученного пакета на узле-приемнике.

Ключевые слова: надежность системы связи, технология, информация, канал связи, работоспособность

Bakytzhan[1] N.B., Raimbekov[2] J.E., Kaliev[3] A., Bychkova[4] K.S., Anuar[5] G.A., Rybakov[6] I.M.

[1,2,3,4,5,6] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

REVIEW AND ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL TECHNIQUES FOR THE IMPLEMENTATION OF SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS

Annotation. A communication network is a set of technical means that ensure the exchange of information through communication channels between geographically remote objects and is a generalization of a communication system in the presence of a large number of senders and recipients of information. Currently, communication networks with a complex structure are being built all over the world, which is due to both the goals and necessary characteristics of the network, as well as the technical capabilities of the means used to implement it. In general, communication networks include nodes (subscribers and concentrations, switching, routing and retransmission of information flows) and various types of communication channels. The principle of spatial switching of channels, messages and packets is fundamental in building communication networks. In networks built on the principle of channel switching, the sender sends a call in advance, which passes through several switching nodes, as a result of which an end-to-end channel is established between the sender and the recipient (the communication channel and the chain of intermediate nodes of the network). This switching chain remains unchanged throughout the entire time of the connection (communication session). When switching messages, each message is transmitted sequentially from one node of the network to another in the direction of the recipient, alternately occupying the channel along the route for the duration of the passage of this message. For intermediate data storage, nodes in such networks must have buffer memory in their composition, which serves to coordinate the speed of information flow and the speed of information transmission over the communication channel of the device. Packet switching transmits packets of a certain volume to the network, pre-fragmenting each message, and the transmitted message is restored from the received packet at the receiving node.

Keywords: reliability of the communication system, technology, information, communication channel, operability

Введение

Различные целевые системы спутниковой связи (ССС) могут отличаться друг от друга по ряду классификационных признаков:

- Характеристики зоны обслуживания
- Основное направление информационного потока в сети;
- Тип орбитальной группировки транспондеров;
- Используемый диапазон частот;
- Назначение CNS и тип используемых станций.

В зависимости от охватываемой территории, структуры административного управления и принадлежности космической и наземной частей сети связи можно выделить следующие виды

- Глобальные ГСС: охватывают всю территорию Земли и развиваются под контролем и координацией международной организации, членами которой являются большинство стран мира;

- Международные МСС, в которых совместно участвуют десятки стран; и Региональные МСС, в которых совместно участвуют страны, расположенные в относительной близости и принадлежащие к одному географическому региону;

- Национальные МСС, когда наземный сектор сосредоточен в одной стране; и

- Корпоративные (отраслевые) МСС - это МСС, в которых наземный сегмент принадлежит отрасли, крупной частной компании и т.д., а целью сети является обеспечение обмена коммерческой информацией и данными в интересах организации, владеющей или арендующей сеть. Корпоративные сети строятся в основном на основе долгосрочной аренды части телекоммуникационных ресурсов VSAT (Very Small Aperture Terminals) и коммерческих ПП общего пользования.

Информационные потоки в SSN различают в зависимости от их направления:

- Сети сбора информации: информация передается от ряда источников (датчиков) в один или несколько центров сбора и обработки информации;

- сети распространения информации: характеризуются передачей трафика от небольшого числа центральных распределительных станций к большому числу потребителей информации. В обратном направлении может быть передано лишь небольшое количество запрашиваемой информации. Для сетей распространения информации характерны многоадресный и широковещательный режимы передачи;

- Сети информационного обмена характеризуются тем, что ЦС в этих сетях являются примерно равными источниками и потребителями информационных потоков, циркулирующих в сети.

В простейших предположениях (Земля - идеальный шар, и на спутники действует только гравитационное поле Земли) движение спутников по орбите Земли подчиняется законам Кеплера. Плоскость орбиты геостационарна во времени, проходит через центр Земли, а орбита представляет собой эллипс с Землей в качестве одного из его центров. Точка, в которой линия, соединяющая спутник и центр Земли, пересекает земную поверхность, называется подспутниковой точкой. Высота h эллиптической орбиты (расстояние между спутником и точкой подспутника) изменяется со временем с периодом, равным орбитальному периоду спутника. Максимальное значение высоты орбиты называется высотой апогея, а минимальное - высотой перигея. Другими важными параметрами, характеризующими околоземную орбиту спутника связи, являются

- Наклонение плоскости орбиты i - угол между экваториальной плоскостью Земли и плоскостью орбиты, отсчитываемый от экваториальной плоскости на север. По этому параметру различают экваториальные (i = 0), полярные (i = 90°) и наклонные (0 < i < 90°, 90° < i < 180°) орбиты: При 0 < i < 90° спутник запускается на восток, а при 90° < i < 180° - на запад. Это связано с тем, что запуск в западном направлении увеличивает скорость движения спутника относительно поверхности Земли и требует более мощного носителя для вывода спутника на орбиту;

- Долгота восходящего узла - долгота точки, в которой орбита вторичного спутника пересекает экваториальную линию при движении спутника с юга на север.

- Эксцентриситет орбиты равен e = v 1 - b / a, где a и b - большой и малый радиусы орбитального эллипса соответственно. Значения эксцентриситета могут быть взяты в диапазоне 0 < e < 1. С увеличением эксцентриситета орбита спутника становится "более узкой и длинной"; если e = 0, эллиптическая орбита превращается в круговую с постоянной высотой/g;

- Орбитальный период спутника (период возвращения спутника) - промежуток времени между прохождением спутников через одну и ту же точку орбиты.

Для создания SSS могут использоваться следующие типы орбит:

- Геостационарная околоземная орбита (GEO: Geostationary Earth Orbit}
- Низковысотная круговая орбита (LEO - Low Earth Orbit);
- Средневысотная круговая орбита (MEO - Medium Earth Orbit);
- Эллиптическая орбита Земли (ЭОЗ - Elliptical Earth Orbit}.

Геостационарный КА располагается восточнее на круговой орбите с нулевым наклонением в экваториальной плоскости и высотой h = 35875 км над поверхностью Земли. Эта орбита характеризуется тем, что угловая скорость спутника совпадает по величине и направлению с угловой скоростью вращения Земли, поэтому теоретически GSR неподвижен относительно экваториальной точки, в которой находится ретранслятор (подспутниковая точка). По этой причине данная орбита получила специальное название - геостационарная орбита (GEO). Геостационарную орбиту часто называют орбитой Кларка, ссылаясь на известного британского писателя-фантаста, который в 1945 году впервые предложил идею использования трех GSR, разнесенных на 120°, для создания глобальной сети связи. Единственным значимым параметром геостационарной орбиты является долгота точки расположения спутника GSR.

Ее главные преимущества - возможность круглосуточной связи и практически полное отсутствие доплеровского сдвига частоты. В результате точная встроенная система наведения антенн, которая удерживает SR уже в достижимой рабочей точке орбиты, позволяет отказаться от использования сложных и дорогостоящих систем наведения следящих антенн. Это значительно снижает стоимость и эксплуатационные расходы наземного сегмента MSS.

Количество спутников-ретрансляторов на геостационарной орбите ограничено международными стандартами. В частности, эти ограничения определяют минимальное значение углового разделения транспондеров. Для обеспечения приемлемой электромагнитной совместимости между различными MSS угловое разделение орбитальных GSR должно составлять не менее 1 градуса. Фиксированные орбиты близки к насыщению: В 2000 году общее число эксплуатируемых коммерческих GSR превысило 200, что привело к ширине полосы пропускания, превышающей 200 ГГц. В связи с этим наблюдается тенденция перехода от количественного к качественному развитию ГСР путем увеличения полосы пропускания каждого ретранслятора с целью максимально эффективного использования позиций, выделенных на геостационарной орбите.

Низкоорбитальные ретрансляторы устанавливаются на круговых орбитах на высоте от 700 до 1500 км. Чем ниже орбита, тем меньше зона обслуживания каждого СР. Поэтому для обслуживания достаточно большой площади земной поверхности требуется большое количество спутников - от десятков до сотен. Время цикла низкоорбитальной группировки ретрансляторов составляет 90-120 минут, а максимальное время, в течение которого спутник может быть виден из фиксированной точки на поверхности Земли, не превышает 10-15 минут. Менее приятной особенностью низкоорбитальной группировки ретрансляторов является то, что она работает по принципу "все или ничего". Это означает, что если есть необходимость обслуживать какой-либо регион земной поверхности, то он может обслуживать и любой другой, почти аналогичный регион, даже если в нем вообще нет необходимости. Поэтому коммуникационные ресурсы низкоорбитальных спутников неэффективно использовать для создания региональных SSN, их применение - в глобальных (или окологлобальных) сетях спутниковой связи.

Возможные маршруты для средневысотных спутников выбираются на высотах от 5 до 15 000 км. Поскольку зона обслуживания каждого средневысотного спутника значительно меньше, чем у геостационарного, для покрытия густонаселенных районов на суше и судоходных вод в океане потребуется создать группировку из 8-12 спутников. Средневысотные ретрансляторы могут использоваться для высококачественной радиотелефонной связи, так как суммарная задержка сигнала (в обоих направлениях) не превышает 200 мс, ПП остаются в зоне радиовидимости наземной станции в течение 1,5-2 часов, а орбитальный ресурс средневысотных спутников несколько меньше, чем у геостационарных спутников. Период обращения спутника вокруг Земли составляет 6 часов (высота орбиты 10350 км). Это означает, что орбита подспутниковой точки повторяется каждые четыре оборота орбиты, что значительно упрощает процесс предоставления информационных услуг пользователям.

Закон сохранения энергии характеризует спутники с эллиптическими орбитами, где угловая скорость в апогее гораздо меньше угловой скорости в перигее. Поэтому ПП остаются в зоне прямой видимости данного региона дольше, чем негеостационарные спутники с круговыми орбитами. Например, спутник-ретранслятор, выведенный на орбиту типа Мольнии (апогей - 40 000 км, перигей - 460 км, наклонение орбиты - 63,4°), обеспечивает сеанс связи продолжительностью 8-10 часов. Орбитальная группировка, состоящая всего из трех таких спутников, обеспечивает глобальную связь в течение 24 часов.

SSN работают в диапазонах частот от нескольких сотен МГц до десятков ГГц, специально выделенных законом о радиосвязи; в случае SSN традиционные буквенные обозначения, введенные для секретности во время Второй мировой войны, "прижились" и широко используются: один диапазон (0,5-1,5 ГГц), пять (1. 5-2,5) ГГц, C-диапазон (4-8 ГГц), iCw-диапазон (12-18 ГГц), Ка-диапазон (20-40 ГГц) и Q/V-диапазон (40-74 ГГц). Первоначально полоса 18-27 ГГц была обозначена буквами if-band. Однако обнаружение значительного поглощения радиосигналов на частоте 22,3 ГГц в атмосфере Земли из-за явления резонанса молекул водяного пара исключило возможность использования частот, близких к этому резонансу. В результате были введены обозначения йг-диапазон (ниже К-диапазона) и /Ся-диапазон (выше К-диапазона). Численное представление частотных диапазонов, используемых в MSS, обычно представляет собой округленное среднее значение частот, передаваемых и принимаемых ретрансляционными спутниками. Например, С-диапазон соответствует полосе 6/4 ГГц (рабочая частота радиолинии "восходящего канала" составляет около 6 ГГц, а радиолинии "нисходящего канала" - около 4 ГГц), ^-диапазон - 14/12 ГГц, ifa-диапазон - 30/20 ГГц, а Q/V-диапазон - 50/40 ГГц. На

ранних этапах развития ГСС приоритет отдавался L-, S- и C-диапазонам, которые соответствуют "окну радиопрозрачности" земной атмосферы и временно располагаются в диапазоне от 1 ГГц до 10 ГГц. Однако, поскольку L- и S-диапазоны уже были полностью заняты другими радиослужбами, для нужд спутниковой связи в этих диапазонах было выделено не более десятков МГц, что не могло обеспечить требуемую пропускную способность ГСС. Поэтому первым выбором стал C-диапазон, который широко используется и по сей день. Недостатком диапазона 6/4 ГГц является возможность взаимных помех между ГСС и наземным радиорелейным каналом. По этой причине плотность потока мощности радиоволн СРВ очень жестко регулируется, особенно вблизи поверхности; поскольку C-диапазон становился все более насыщенным, а в производстве СВЧ-компонентов радиоэлектроники были достигнуты успехи, был разработан Кг/диапазон. Хотя в этом диапазоне можно было использовать более компактные антенны и улучшились условия электромагнитной совместимости с другими радиослужбами, влияние атмосферных условий Земли на поглощение и рассеяние радиосигналов, хотя и менее интенсивное, стало очевидным, что потребовало определенного запаса энергии для линий радиосвязи. Тем не менее, Ku-диапазон давно проверен на практике, технологии изготовления оборудования отработаны, и в настоящее время диапазон 14/12 ГГц используется в большинстве действующих ПП. В последние годы интенсивно ведется подготовка к использованию диапазонов Ка и Q/V. В таблице 1 приведена динамика изменения степени использования различных частотных диапазонов коммерческими спутниками фиксированной связи (в процентах).

Таблица 1

Динамика изменения степени использования диапазонов частот в ССС (в процентах)

Год Диапазон	1998	2001	2004 (прогноз)
C	40	35	30
Ки	59	64	53
Ка	1	1	17

Услуги спутниковой связи классифицируются в зависимости от назначения сети и типа земной станции, введенного Регламентом радиосвязи:

- Фиксированная спутниковая служба (FSS);
- мобильная спутниковая служба (MSS)
- Спутниковая служба вещания (BSS).

Сети FSS предназначены для связи между фиксированными станциями, организации дальних магистральных каналов и зоновой связи, а также создания корпоративных сетей Услуги FSS предоставляют пять крупных международных организаций и около 50 региональных и национальных компаний. К наиболее значимым коммерческим системам фиксированной связи относятся Intelsat, "Интерспутник", Eutelsat, Arabsat и AsiaSat. Наиболее мощной является международная система Intelsat, орбитальная группировка которой охватывает четыре основных региона обслуживания: Атлантический, Индийский, Азиатско-Тихоокеанский и Тихоокеанский. В настоящее время каждая из 25 СР системы имеет емкость от 12 000 до 35 000 телефонных каналов, а наземный сегмент насчитывает около 800 основных станций в 170 странах мира.

Сеть SAR возникла около 30 лет назад. В зависимости от типа станций она подразделяется на морскую подвижную спутниковую службу (MPSS), воздушную подвижную спутниковую службу (UPSS) и наземную подвижную спутниковую службу (LMSS). Первая мировая сеть мобильной радиотелефонной связи и геостатическая СР Marisat были разработаны компанией Comsat в середине 1970-х годов. Это было связано со значительно меньшей энергетической мощностью мобильных станций по сравнению с фиксированными и более сложными условиями эксплуатации мобильных станций.

Изначально мобильные земные станции разрабатывались в основном для систем военного назначения. Сети мобильной связи первого поколения строились с использованием стационарных СР и имели небольшую емкость. Для передачи информации использовались аналоговые методы модуляции.

Спутниковые услуги вещания используются для приема телевизионных и радиопрограмм и являются основными услугами систем непосредственного телевизионного вещания (DTV), спутникового телевизионного вещания и спутникового непосредственного радиовещания. Все системы вещания используют спутники на геостационарной орбите. В этом секторе телекоммуникаций, где основным требованием к системе является непрерывное покрытие зоны обслуживания, преимущества GSSS перед другими средствами связи очень велики.

Примеры GSSS для различных спутниковых служб приведены в таблице 2.

С точки зрения сегодняшнего дня, первое поколение ГССС было далеко от совершенства. Элементная и компонентная база того времени не позволяла создавать мощные и надежные бортовые передатчики и чувствительные малошумящие приемники. Кроме того, ограниченные возможности вывода спутников связи на орбиту сильно ограничивали массо-габаритные характеристики всего спутника и бортовой ретрансляционной аппаратуры. Низкие характеристики ретрансляционного оборудования должны были компенсироваться высокими характеристиками наземной станции. В результате станции зондирования получались очень громоздкими и дорогими. Возможности спутниковых радиоканалов по обеспечению связи между удаленными точками земной поверхности без необходимости прокладки специальных физических сред для распространения сигнала между этими точками определили основное направление практического применения первого поколения ССН.

Заключение

Спутниковые сети для распространения телевизионных программ одними из первых в мире были развернуты на территории бывшего Советского Союза с его огромной территорией и жесткой централизацией телевизионного вещания. Десятки приемных станций "Орбита" были оснащены следящими антенными системами диаметром около 12 метров, а для размещения приемного оборудования потребовались специально построенные здания. На первом этапе своего развития Intelsat International SSN обеспечивал межконтинентальную и межрегиональную передачу международного телефонного трафика и обмен телевизионными программами. Антенны с максимальным диаметром 30 метров использовались более чем 200 станциями сети. С экономической точки зрения, учитывая, что почти в каждой МСС число связей значительно превышает число ретрансляторов, очевидно, что выгоднее установить в сети одну или несколько мощных, высокочувствительных и, следовательно, дорогих СР и ряд простых, дешевых связей. С момента начала практического применения эволюция SSN шла по пути улучшения характеристик ретрансляторов и одновременного упрощения WL. Скорость движения в этом направлении во многом определяется достижениями науки, техники и технологий, которые способствовали развитию космической связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка печатной платы-шаблона с применением систем автоматизированного проектирования / С. Д. Кузнецов, А. Б. Балгожиев, В. О. Малышев [и др.] // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2023. – Т. 1. – С. 273-275. – EDN PBUTFQ.

2. Толмач, А. Н. Стартапы в фитнес-индустрии: анализ трендов цифровизации / А. Н. Толмач // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2023. – Т. 2. – С. 332-333. – EDN HOKFVY.

3. Стандарт 5G - характеристики и перспективы / А. А. Лифанов, Д. В. Дерябин, П. Г. Андреев, Б. С. Бейсембаева // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2022. – Т. 1. – С. 203-205. – EDN NRBNJW.

4. Анализ рынка датчиков, используемых в качестве основы узла беспроводной сенсорной сети / А. А. Боков, И. И. Кочегаров, Д. А. Кузин [и др.] // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2022. – Т. 2. – С. 207-209. – EDN JLDYDU.

5. Борщев, Н. О. Метод идентификации теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов, предназначенных для термостатирования аппаратуры в условиях невесомости / Н. О. Борщев // Надежность и качество сложных систем. – 2023. – № 4(44). – С. 130-141. – DOI 10.21685/2307-4205-2023-4-12. – EDN OZFJYD.

6. Разработка методов проектирования безрезонансных тонкостенных цилиндрических конструкций бортовых радиоэлектронных систем / С. И. Фролов, Е. А. Данилова, Г. В. Таньков [и др.] // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 2(38). – С. 14-24. – DOI 10.21685/2307-4205-2022-2-2. – EDN BFZOQE.

УДК 678.019.36

Посысаев[1] Е.И., Гришин[2] М.В., Горелов[3] А.А., Зелякова[4] Т.И., Рубан[5] С.О.
[1,2,3,4,5] 46 центральный научно-исследовательский институт Минобороны России, Москва, Россия
[1] Otdel@mail.ru

АНАЛИЗ НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОРПУСИРОВАНИЯ МИКРОСХЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрен вопрос влияния климатических и специальных факторов на свойства полимерных композиционных материалов и возможности их использования для корпусирования микросхем специального назначения.
Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, корпусирование, микросхемы

Posysaev[1] E.I., Grishin[2] M.V., Gorelov[3] A.A., Zelyakova[4] T.I., Ruban[5] S.O.
[1,2,3,4,5] 46 Central Research Institute" of the Russian Ministry of Defense, Moscow, Russia
[1] Otdel@mail.ru

ANALYSIS OF NEW POLYMER COMPOSITE MATERIALS FOR THE PACKAGING OF SPECIAL PURPOSE CHIPS

Annotation. The issue of the influence of climatic and special factors on the properties of polymer composite materials and the possibility of their use for the packaging of special-purpose microcircuits is considered.
Keywords: polymer composite materials, casing, microchips

Введение. В настоящее время создаются спутники из электроники индустриального класса, которая предназначена для эксплуатации на Земле, и не готовилась к работе в космосе. Поэтому задача по расширению номенклатуры электронной компонентной базы отечественного производства (ЭКБ ОП), разрешённой (допущенной) к применению при разработке (модернизации) бортовой аппаратуры изделий (систем, комплексов) ракетно-космической техники является актуальной и представляет несомненный практический интерес. С этой целью решается вопрос применения полимерных композиционных материалов (ПМК) для корпусирования микросхем специального назначения. Известно, что в течение времени ПКМ могут изменять свои характеристики, так как происходит старение (деструкция) полимера. Изменение свойств ПКМ происходит под воздействием климатических факторов, из которых основное влияние оказывает сорбция влаги, газовыделение и радиация. В качестве полимерной основы (матрицы) компаундов многих ПКМ, в том числе и GR 910 и K16 KL-1000-3A, используется эпоксидная смола. Смолы выполняют роль связки. Эпоксидные смолы отличаются прочностью, высокими вязкостью и температурой стеклования, электроизоляцией, не изменяющейся при старении, негорючестью, хорошей адгезией к различным материалам, малым коэффициентом линейного термического расширения (КЛТР), незначительной усадкой, а при отверждении — высокой химической стойкостью. Наиболее часто используются эпоксиноволачные смолы, реже бифенольные. Поэтому рассмотрим влияние климатических и специальных факторов на эпоксидные смолы, а затем перейдем к рассмотрению результатов теоретических и экспериментальных исследований ректопластов, матрицы которых содержат эпоксидные смолы.

Эпоксидные смолы (полимеры)

Эпоксидные смолы представляют собой продукты поликонденсации эпихлоргидрина с фенолами различного строения. Особенностью этих материалов является то, что все полимеры этой группы в той или иной степени проницаемы для воды. Изотерма сорбции влаги соответствует изотерме лэнгмюровского II типа, при которой большая часть сорбированной влаги не растворяется в полимере, а конденсируется на поверхности внутренних микрополостей [1]. В процессе сорбции в полимерной матрице протекают процессы структурирования за счет пластифицирующего действия влаги, которые носят необратимый характер. На практике это приводит к набуханию полимеров. При наличии в полимере коррозионно-активных ионов происходит интенсивное взаимодействие молекул воды с высокополярными группами с образованием электролита, что может привести к проникновению реагента на поверхность кристалла и способствовать разрушению алюминиевой металлизации изделий микроэлектроники.

Воздействие повышенной температуры значительно ускоряет процессы старения, протекающие в полимерных материалах. Скорость и глубина протекания старения определяют ресурс и срок службы материала в составе изделия. Параллельно могут протекать реакции, приводящие к изменению химического состава полимерной матрицы, такие как термодеструкция и термоокислительная деструкция. При этом одни полимеры распадаются до исходных мономеров, а другие дают множество продуктов разложения. Например, формальдегидные и эпоксидные смолы (отвержденные)

выделяют водород, оксид углерода, диоксид углерода. Образовавшиеся летучие продукты деструкции и низкомолекулярные фрагменты могут оказывать корродирующее действие на материалы и детали микросхем. При реакциях термодеструкции на открытом воздухе необходимо учитывать вклад кислорода – термоокислительная деструкция. В процессе термоокислительной деструкции происходит зарождение, развитие и разрыв цепи с образованием кетонов, спиртов и кислорода [2]. Термическая деструкция характеризуется прежде всего разрывом наиболее слабой связи, следовательно, определяется энергией диссоциации такой связи.

На практике полимерные покрытия подвергаются воздействию комплекса различных факторов. Во многих случаях в процессе старения полимеров образуются свободные радикалы, молекулы могут вступать в реакции рекомбинации, что приводит к увеличению молекулярной массы и сшивки полимера. Это сказывается на механической прочности полимера. Старение и разрушение полимера в любых условиях происходят необратимо, так что изменения свойств полимера накапливаются во времени аддитивно.

Взаимодействие ионизирующего излучения с органическими материалами сопровождается газовыделением. Основные стадии этого процесса – образование летучих продуктов, диффузия их к поверхности, образование монослоя и адсорбция с поверхности. Если материал находится в замкнутом объеме и отсутствует принудительное удаление продуктов, они накапливаются в этом объеме. При этом газовыделение сопровождается сорбцией и взаимодействием газов между собой и соседними материалами. Например, состояние под нагрузкой приводит к увеличению температуры, что согласно модели Аррениуса, ускоряет вредные химические реакции. Под действием ионизирующего излучения может быть инициирована реакция водорода с галогенами и щелочными металлами по типу:

$H_2 + CI_2 \rightarrow 2HCI$; $H_2 + Br_2 \rightarrow 2H\,Br$; $H_2 + 2\,Na \rightarrow 2\,Na\,H$;

$H_2 + 2\,K \rightarrow 2\,KH$, образуя коррозионно-активные соединения, влияющие на алюминиевую металлизацию микросхем.

[1] Примечание – Для начала разрушения шины металлизации достаточно, например, хлора – $2{,}1\ 10^{-11}$ г, Na - $1{,}1\ 10^{-10}$ г, H_2O - $5{,}4\ 10^{-11}$ г.

В настоящее время главным источником информации являются эмпирические данные, полученные в специальных или натурных испытаниях. Сводные данные по влиянию ионизирующего излучения на деструкцию эпоксидных смол представлены в таблице 1[3].

Таблица 1

Полимер	Доза, при которой наблюдаются деструктивные процессы, рад:			
	едва заметные изменения	изменения на 25%	изменения на 50%	изменения на 80%
Эпоксиноволочная смола	$2\cdot10^8$	$3{,}4\cdot10^9$	$1\cdot10^{10}$	-
Эпоксидная смола	$1\cdot10^8$	$1{,}7\cdot10^9$	$6\cdot10^9$	$5\cdot10^9$

Очевидно, с дозы в $1\cdot10^8$ рад в полимерах начинается процесс деструкции, что приводит к разрыву химических связей, а иногда и к сшивке макромолекул, изменению химической структуры, понижению или увеличению молекулярной массы полимера, образованию свободных радикалов.

Эпоксидные полимеры сорбируют влагу, стадия сорбции может продолжаться до 188 суток. При наличии в полимере коррозионно-активных ионов происходит интенсивное взаимодействие молекул воды с высокополярными группами с образованием электролита, что способствуют разрушению алюминиевой металлизации. [4]. Воздействие ионизирующего излучения на эпоксидные полимеры сопровождается газовыделением, которые могут оказывать корродирующее действие на материалы и детали.

1.2 Полимеры (реактопласты) GR 910 и K16 KL-1000-3A

По заказу Минпромторга в России планируется производство композита трех типов (реактопласты): - класс на основе бифенильной эпоксидной смолы; - класс на основе ортокрезолоноволачной эпоксидной смолы (TJCN) - класс на основе дициклопентадиена (DCPD)

Реактопласт-полимерами называют полимерные материалы, которые при формовании в конечные изделия проходят необратимую химическую реакцию с образованием сшитой структурной сетки макромолекул (отверждение) в результате которой образуется неплавкий и нерастворимый полимер.

Для исследования предложен композит (реактопласт) основой которого является бифенильная эпоксидная смола, в качестве наполнителя используют кварц, концентрация кварца должна быть на уровне 65-75%.

1.2.1 Сорбционные свойства компаундов GR 910 и KL-1000-3A

Компаунды GR 910 и KL-1000-3A на основе бифенильной эпоксидной смолы были разработаны с той целью, чтобы обеспечить наилучшую формуемость и широкие возможности формования электронных радиоизделий бытового и промышленного

назначения. Сообщается, что компаунды содержат коррозионно-активные ионы: Na^+, K^+, Br^-, CI^-, водопоглощение составляет 0,2%. Макромолекулы полимерной матрицы в своем составе содержат [- Si-O-Si-], фенильные и эпокси- группы, а также содержат гидрофильные коррозионно-активные примеси (Na^+, K^+, Br^-, CI^-) [5].

Как было сообщено ранее, полимеры на основе эпоксидной смолы сорбируют влагу по лэнгмюровскому II типу. При наличии гидрофильных высокополярных групп, таких как Na^+, K^+, Br^-, CI^-, первоначально происходит интенсивное взаимодействие молекул воды с высокополярными группами полимера – гидратация ионных и полярных фрагментов полимера с образованием электролита. Последующие порции воды могут пластифицировать полимерную матрицу, что может привести к увеличению подвижности сегментов и к проникновению влаги к поверхности кристалла[1] и способствовать разрушению алюминиевой металлизации кристалла.

Кроме того, необходимо учитывать, что миграция подвижных ионов по поверхности активных областей кристалла микросхем вызывает деградацию их электрических параметров. Одна из главных проблем в этом случае связана с ростом токов утечки, вызывающих нестабильность работы как биполярных, так и полевых приборов, в частности, схем памяти. К числу наиболее опасных ионов следует отнести ионы щелочных металлов (калия, натрия) и анионы хлора. Наряду с этим, присутствие в эпоксидном заливочном компаунде ионов брома или сурьмы, может вызвать ускоренную деградацию интерметаллической области контактной площадки на границе раздела золото-алюминий.

Необходимо отметить, что степень деструкции и другие физико-химические превращения полимерных материалов зависят от продолжительности влияния эксплуатационных и климатических факторов[2]. Старение и разрушение полимера в любых условиях происходят необратимо, так что изменения свойств полимера накапливаются во времени аддитивно.

[2] Примечание – Влага не вызывает коррозии или прочих негативных эффектов в условиях космического вакуума, но может способствовать коррозии в период хранения и наземной обработки, а также вызвать растрескивание корпуса в процессе пайки, если не применяются строгие меры по исключению наличия влаги.

В связи с вышеизложенным, компаунды (реактопласты) GR 910 и KL-1000-3A, которые содержат коррозионно-активные ионы: Na^+, K^+, Br^-, CI^-, Sb, являются потенциально ненадежными для защиты алюминиевой металлизации.

1.2.2 Влияние радиации

Действие ионизирующего излучения на эпоксидный полимер сопровождается газовыделением низкомолекулярных фрагментов, которые могут оказывать корродирующее действие на материалы и сам полимер.

Другая проблема связана с электризацией полимерного материала, которая вызывает повреждения ЭРИ из-за ЭСР. Анализ биполярных ИС, получивших повреждения из-за ЭСР, показывает, что у 90% схем были повреждены переходы, у остальных 10% была повреждена металлизация. Одновременно у 27% схем имел место пробой диэлектрика. Анализ биполярных ИС, получивших повреждения из-за ЭСР, показывает, что у 90% схем были повреждены переходы, у остальных 10% была повреждена металлизация. Одновременно у 27% схем имел место пробой диэлектрика.

Каков же прогноз применения полимеров в космосе?

Известен уровень поглощенных доз для ЭКБ КА на геостационарной орбите (36000 км). Можно предположить, что заметное разрушение полимеров начнется с дозы $1{,}7 \cdot 10^9$ рад и при дозе $5 \cdot 10^9$ рад произойдет разрушение на 80%. Специалисты ИЯФ СО РАН им. Г.И. Будкера утверждают, что работающий на геостационарной орбите аппарат в течение 15 лет набирает дозу равную 3 МГр ($3 \cdot 10^8$ рад).

Для прогнозирования применения компаундов (реактопластов) GR 910 и K16 KL-1000-3A в качестве ПМК ИС в условиях космического пространства очевидна задача проведение испытаний этих материалов непосредственно в натурных условиях космоса, как в полетных условиях, так и проведение их исследований после завершения полетных экспериментов.

Чтобы адекватно оценить радиационную стойкость изделий, образцы, предназначенные для дозовых испытаний, должны предварительно пройти электротермотренировку (ЭТТ). Радиационные испытания выборки из каждой партии. Каждая партия должна быть испытана на воздействие поглощённой дозы, одиночных событий и дефектов смещения от заряженных частиц.

Однако гарантировать, что при этом методе действительно измеряется истинная характеристика полимера, которая сохранит свою ценность и в условиях жесткого применения, нельзя. В то же время, современный уровень знаний о механизмах старения композитов, их причинах и предпосылках, а также наработка объема эмпирических сведений о мерах предотвращения катастрофических событий, знание разнообразных методов испытаний позволяют считать, что задача успешного

применения ПМК ИС в условиях космоса достижима [7]. Прогнозирование радиационных дефектов будет оставаться одной из главных проблем особенно для КА со сроком активного функционирования 10-15 лет. В настоящее время главным источником информации являются эмпирические данные, полученные в специальных или натурных испытаниях.

1.2.3 Натурные испытания реактопласта KL-1000-3A

Испытания реактопласта на основе бифенильной эпоксидной смолы и его исследование проводились в ЗАО "Группа кремний ЭЛ" на базе корпуса TO-252 (без полости), причем одновременно испытывались образцы корпуса с использованием серийного реактопласта фирмы Henkel HYSOL KL-1000-3A [5].

В качестве объектов исследования были взяты фрагменты опрессованных 16-кадровых рамок. Часть из них подверглась термостарению в течение 24 ч при температуре 110 °C. Также исследовались куски полимера из застывшей зоны литника. Все образцы проверялись на устойчивость: - к нагреву до 265 °C в течение 30 с; - горению - пламя газовой горелки (30 с); - нагреву на электрической плите до 350 °C; - нагреву в вакуумной печи отжига до 430 °C.

Сравнение характеристик реактопластов Таблица 2

Параметр	Материал	
	Реактопласт производства ЗАО "Группа Кремний ЭЛ"	HYSOL KL-1000-3A
Внешний вид	Незначительное количество облоя	Обильный облой на радиаторе
Предельная температура,	>400	<350
Устойчивость к горению (пламя зажигалки)	Обугливание и возгорание не происходило	Дым выделяется слабо, слабо обугливается
Влагопоглощение, %	0,085	0,138

Результаты испытаний подтверждают, что новый реактопласт имеет отличные характеристики. Новый реактопласт отличается высокой теплоустойчивостью (до 430 °C), низким влагопоглощением, отсутствием выделения влаги и ионов Na^+ и Cl^-, но эти результаты получены в отсутствии воздействия радиации. Стоит подчеркнуть, что это уже не пластмасса, а композиционный полимерный материал (композит), обладающий необходимыми характеристиками для корпусирования ИС. Также необходимы натурные испытания с воздействием радиации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Всесторонний анализ существующих теоретических и экспериментальных данных по физике и химии полимеров показал:

1. Использование интегральных микросхем в пластиковых корпусах (ПК ИС) для космических целей может иметь преимущества в плане функциональных возможностей и доступности изделия, но при этом для обеспечения надёжности необходима тщательная оценка температурных, механических и радиационных условий их функционирования.

2. На практике полимеры подвергаются воздействию комплекса различных факторов, в результате образуются агрессивные летучие соединения, которые могут вызывать коррозию металлов и инициировать деструкционные процессы в композитах вплоть до их разрушения со временем. Такие композиционные реактопласты являются потенциально ненадежными для защиты алюминиевой металлизации при создании ПК ИС.

3. Для прогнозирования использования реактопластов, в том числе и GR 910 и K16 KL-1000-3A, в качестве ПК ИС в условиях космического пространства очевидна задача проведение испытаний этих материалов непосредственно в натурных условиях космоса, как в полетных условиях, так и проведение их исследований после завершения полетных экспериментов. Необходимы специальные испытания для каждой партии ПК ИС, а испытания на радиационную стойкость должны соответствовать уровню надёжности, оговоренному в ТД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рейтлингер С.А. Проницаемость полимерных материалов. - М.: Химия, 1974, 268 с.
2. Архиреев В.П. Старение и стабилизация полимеров: учеб. пособие. Казань: КГТУ, 2002. 88 с.
3. atomic- energy.ru
4. Е.В. Николаев, С.Л.Барботько, Н.П. Андреева, М.Р. Павлов Исследование влияния сорбционной влаги на эпоксидную матрицу и углепластик на ее основе//Труды ВИАМ.- 2015-№12. 86 с
5. О.Кочергин, В. Громов, Н. Брюхно. М. Котова, Е. Абашин, В. Огнев программа импортозамещения на предприятии «Группа Кремний ЭЛ»: полимерное корпусирование.//ЭЛЕКТРОНИКА/ НАУКА/БИЗНЕС-2017.-№7.- 64 с.
6. О.Кочергин, В. Громов, Н. Брюхно. М. Котова, Е. Абашин, В. Огнев программа импортозамещения на предприятии «Группа Кремний ЭЛ»: полимерное корпусирование.//ЭЛЕКТРОНИКА/ НАУКА/БИЗНЕС-2017.-№7.- 64 с.
7. Труды Международного симпозиума НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО: посвящ. 80-летию Пенз. Гос. Ун-та-Пенза:Изд-во ПГУ, 2023.-Т.2.-388 с.

УДК 628.8

Коваленко[1] А.В., Логинова[2] Л.В., Шарков[3] В.В., Артомонов[4] Д.С., Ануар[5] Г.А., Рыбаков[6] И.М.

[1,2,3,4,5,6] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ВЫБОРА СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА

Аннотация. Кондиционирование воздуха в офисах и административных зданиях сегодня не только стандартизировано, но и имеет решающее значение для индивидуальной работоспособности людей, а значит, напрямую влияет на производительность. Важными характеристиками систем кондиционирования являются тепловой и акустический комфорт, а также высокая энергоэффективность. В то же время особенно важно, чтобы были соблюдены экономические и практические требования. Например, срок службы, инвестиционные затраты и эксплуатационные расходы системы кондиционирования воздуха чрезвычайно важны для заказчика, а пользователь системы кондиционирования воздуха придает большое значение надежности и простоте использования, учитывая индивидуальные требования к температуре в помещении.

Ключевые слова: конструкция, энергоэффективность, надежность, микроклимат, тепловой и акустический комфорт

Kovalenko[1] A.V., Loginov[2] L.V., Sharkov[3] V.V., Artomonov[4] D.S., Anuar[5] G.A., Rybakov[6] I.M.

[1,2,3,4,5,6] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE SELECTION OF MICROCLIMATE SYSTEMS

Annotation. Air conditioning in offices and administrative buildings today is not only standardized, but is also crucial for people's individual performance, which means it directly affects productivity. Important characteristics of air conditioning systems are thermal and acoustic comfort, as well as high energy efficiency. At the same time, it is especially important that the economic and practical requirements are met. For example, the service life, investment costs and operating costs of an air conditioning system are extremely important to the customer, and the user of an air conditioning system attaches great importance to reliability and ease of use, taking into account individual requirements for room temperature.

Keywords: construction, energy efficiency, reliability, microclimate, thermal and acoustic comfort

Введение

Различные варианты использования офисных помещений требуют разных подходов к системам кондиционирования, начиная с этапа планирования. При разработке концепции кондиционирования для офисов с открытой планировкой используется иной подход к системам кондиционирования, чем для офисов с переговорными комнатами или залами ожидания. Дополнительные сложности возникают при разработке систем кондиционирования для офисных зданий особой архитектуры, которые уже эксплуатируются. Здесь для достижения максимальной энергоэффективности система кондиционирования должна быть адаптирована к объемному плану здания и характеру тепловой нагрузки в каждом помещении. Таким образом, объемный план является основой для выбора подходящей системы кондиционирования воздуха для офисного здания.

Приступая к проектированию системы кондиционирования воздуха в офисном здании, в первую очередь следует обратить внимание на качество внутренней среды. Хорошее качество внутренней среды может быть достигнуто благодаря четырем основным характеристикам: качество воздуха в помещении, тепловая среда, акустическая среда и визуальная среда. Данная статья посвящена двум из них - качеству воздуха в помещении и тепловой среде. Эти параметры оказывают наибольшее влияние на энергопотребление здания. Правильно контролируя эти параметры, можно добиться хорошего качества окружающей среды при одновременном снижении энергопотребления.

Помимо эксплуатационных характеристик, системы кондиционирования воздуха в офисных зданиях, как уже говорилось выше, зависят от конкретного объемно-планировочного решения здания и поэтому должны размещаться непосредственно в отведенном пространстве здания. В профессиональной литературе отмечается, что для проектирования системы кондиционирования воздуха совсем не важно, "насколько надежна система, насколько дешева она в эксплуатации и насколько низок уровень шума" [1].

Обычно системы кондиционирования воздуха отождествляют с "охлаждением воздуха" через сплит-систему. На самом деле кондиционирование воздуха - это очень сложный процесс обработки воздуха во внутренней среде помещения для создания и поддержания требуемых стандартов температуры, влажности, чистоты и подвижности.

В профессиональной литературе кондиционирование воздуха - это "создание и поддержание параметров воздушной среды, температуры, относительной влажности, чистоты воздуха, скорости ветра и давления воздуха в закрытых помещениях и на

транспортных средствах в оптимальных условиях для самочувствия людей (автоматическое), комфортного кондиционирования, осуществления технических процессов, эксплуатации оборудования и приборов, обеспечения сохранности предметов культуры и искусства". Это понимается как "делать". Во многих случаях кондиционирование воздуха выполняет функцию вентиляции.

Система активного регулирования

Несколько отличается от определения систем кондиционирования воздуха В.Н. Богословского: "Система кондиционирования - это система активного регулирования, предназначенная для комплексного поддержания определенных параметров внутреннего воздуха, рассчитанная и обеспечивающая, как правило, оптимальные условия в помещениях здания или сооружения".

По мнению профессора В.И. Полушкина, система кондиционирования воздуха - это "создание и автоматическое поддержание параметров воздушной среды помещений, чистоты, температуры, влажности, состава, подвижности и давления воздуха в оптимальных условиях для самочувствия людей, выполнения технических процессов, обеспечения сохранности предметов культуры и искусства и т.д., независимо от изменения параметров наружного воздуха". Под ним понимается "создание и автоматическое поддержание оптимальных условий для самочувствия людей, выполнения технических процессов, обеспечения сохранности объектов культуры и произведений искусства и т.д.".

Коркин В.Д. предлагает понимать под кондиционированием воздуха "совокупность методов, средств и устройств, обеспечивающих с определенной точностью необходимые условия по качеству, температуре, относительной влажности, подвижности, газовому составу и чистоте воздуха в помещениях". независимо от влияния внешних или внутренних факторов" [2].

Исходя из определения системы кондиционирования, можно сделать вывод, что задача, решаемая такой системой в офисном помещении, заключается в формировании параметров качества воздуха таким образом, чтобы соответствовать требованиям, предъявляемым к такой среде. Для определения этих условий необходимо иметь информацию о назначении системы кондиционирования, потребностях заказчика такой системы, функциональности здания (помещения) и обеспечить правильный учет всех функций системы кондиционирования.

Выбор наиболее подходящей системы кондиционирования

Выбор наиболее подходящей системы кондиционирования зависит от ряда критериев, таких как температура, влажность, эксплуатационные расходы, движение воздуха, оценка жизненного цикла и т.д., и эти критерии могут взаимодействовать друг с другом в процессе проектирования. Анализ нагрузок на систему кондиционирования воздуха часто способствует процессу количественной оценки данных, чтобы свести возможные варианты систем к минимально доступному диапазону. Это связано с особенностями различных типов зданий и объемно-планировочных решений.

Н.В. Дубинин относит объемно-планировочные решения зданий к "планировочным решениям, в которых размеры и формы помещений в плане этажа и общий объем здания связаны между собой". Современные системы кондиционирования воздуха можно разделить на три основные группы в зависимости от объемно-планировочного решения и характера тепловой нагрузки: центральные, региональные и местные центральные по схемному решению и две группы по способу распределения воздуха: смешивание и вытеснение.

Одной из трудностей при проектировании современных офисных зданий является определение возможных тепловых режимов при различных способах теплоснабжения и выбор экономически оптимального способа поддержания оптимального воздушно-теплового режима для всех помещений с учетом коэффициента теплофикации. Таким образом, требования к мощности системы кондиционирования воздуха влияют на конструкцию здания и соответствующий подход к реализации подходящего решения. В зависимости от конструкции здания могут потребоваться отдельные зоны управления для поддержания энергопотребления системы кондиционирования. Кроме того, требования к мощности системы кондиционирования определяют параметры для оптимизации системы в соответствии с зонированием помещений. Важно также помнить, что даже если конкретная система кондиционирования воздуха более эффективна, чем другие типы, ее можно использовать только в том случае, если она отвечает нескольким требованиям: поддержание желаемой среды в здании и сохранение объемного дизайна здания без помех для людей.

Независимо от того, проектируется или строится здание, выбор систем кондиционирования должен основываться на хорошо проработанных технических спецификациях. Это связано с тем, что процесс проектирования систем кондиционирования воздуха, как и всех других систем здания, состоит из нескольких этапов, на которых необходимо учитывать проектные спецификации и законодательные

требования. В новых проектируемых зданиях характеристики системы кондиционирования воздуха должны быть учтены на ранней стадии, чтобы разработать оптимизированную систему кондиционирования. Это позволяет разрабатывать объемно-планировочные решения с наиболее эффективными и функциональными системами. С другой стороны, в уже построенных зданиях объемно-планировочное решение определяет выбор системы кондиционирования в соответствии с конкретными требованиями к микроклимату (тепловой комфорт, минимальный объем наружного воздуха и движение воздуха внутри помещений, уровень шума и другие параметры, важные в свете предполагаемого использования каждого помещения в общем объеме здания). Выбор системы должен осуществляться в соответствии со следующими критериями. Кроме того, учитывается гарантированный срок службы системы кондиционирования, а также затраты на обслуживание и эксплуатацию. Также учитываются эстетические требования клиентов, использующих такие системы. Как уже говорилось, объемный расчет напрямую влияет на выбор системы кондиционирования. Вместе с климатическими характеристиками он обеспечивает исходные данные для определения расчетов теплопотерь и коэффициента теплоотдачи.

Расчет теплопотерь

Расчеты теплопотерь анализируются для различных температур внутри и снаружи здания. Потери тепла состоят из двух основных элементов: потери воздуха (инфильтрация/вентиляция) и потери в конструктивных элементах здания. Чтобы минимизировать эти эффекты, можно использовать герметичные здания для оптимизации размеров системы кондиционирования воздуха, на которую влияют как солнечные, так и внутренние теплопоступления.

Расчеты теплопоступлений должны учитывать солнечное излучение, которое также зависит от ориентации здания; как утверждают Дуг Оутон и Стив Ходкинсон в своем исследовании, "расчеты должны основываться на пиковом повышении температуры как функции вентиляции, кондукции и солнечного излучения" [3]. При расчете потерь в конструктивных элементах здания учитывается термическое сопротивление каждого слоя строительной конструкции, а также сопротивление внутренней и внешней поверхности, которые вносят вклад в общий коэффициент теплопроводности материала.

Поскольку офисные здания в Российской Федерации обычно работают с 8 утра до 6 вечера с понедельника по четверг и с 8 утра до 4:45 вечера по пятницам, количество посетителей также играет важную роль при выборе систем кондиционирования. Например, офисы со сложным оборудованием, такие как компьютерные центры, должны работать 24 часа в сутки, а не с фиксированной точки, поэтому необходимо выбирать системы кондиционирования с резервированием, а также учитывать планирование пространства на случай отказа центральной системы кондиционирования для всего здания.

Решения по планированию пространства в офисных зданиях включают периферийные и внутренние зоны. Периферийные зоны - это зоны, состоящие из переменных нагрузок, связанных с положением солнца и изменением погодных условий. Зимой эти зоны необходимо отапливать. Однако в непиковые периоды в одних помещениях может потребоваться обогрев, а в других - охлаждение. С другой стороны, зонирование помещений требует постоянной интенсивности охлаждения в течение всех четырех сезонов, поскольку тепловая нагрузка в основном создается светом, людьми и офисным оборудованием. Поэтому системы кондиционирования воздуха в помещениях должны быть достаточно гибкими, чтобы справляться со всеми нагрузками. Поэтому выбор переменного расхода воздуха является наиболее необходимым. При проектировании систем кондиционирования воздуха необходимо оценить, можно ли согласовать движение воздуха внутри и снаружи офисного здания при требуемой температуре, не вызывая при этом переохлаждения. В современных энергоэффективных системах кондиционирования эти особенности учитываются при проектировании здания, подача свежего воздуха и снижение тепловой нагрузки рассматриваются отдельно, объем воздуха снижается до необходимого уровня и регулируется в зависимости от потребностей конкретных помещений. В уже построенных зданиях выбор системы ограничен и зависит от особенностей планировки. В таких зданиях часто важно обеспечить достаточный воздухообмен внутри помещения, поэтому используется смешанная / вытесняющая вентиляция, предназначенная для поддержания тепловой нагрузки от фасада и полной и правильной очистки свежего воздуха внутри помещения, независимо от объема.

Для каждого помещения в офисном здании предусмотрено свое освещение. Нагрузка на освещение - это большая тепловая нагрузка здания. Компьютерные центры и другие электроустановки могут давать нагрузку 50-110 Вт/м2. Исходя из этого, очень важно ознакомиться с электрооборудованием, работающим в каждом помещении здания, чтобы определить подходящий размер блока кондиционера для установки системы кондиционирования. В помещениях, где электрическая нагрузка превышает

65 Вт/м², тепло следует удалять из помещения через вытяжные и водопроводные трубы [4]. Как правило, в офисных зданиях используются обычные двойные воздуховоды, либо индукционные, либо фанкойлы. Если индукционные воздуховоды или фанкойлы устанавливаются по периметру здания, то для внутренних помещений используются системы "все-воздух". В зданиях без экономайзерных зон на каждом этаже устанавливается многозонная байпасная система, а в каждом воздуховоде наружной зоны - нагревательные змеевики.

В зависимости от объемно-планировочного решения на выбор и проектирование систем кондиционирования влияют такие системные ограничения, как холодильные нагрузки, требования к зонированию, отоплению и вентиляции, а также архитектурные ограничения. Эти ограничения включают в себя размер и внешний вид теплового оборудования, допустимые уровни шума, свободное пространство для оборудования и его расположение относительно кондиционируемого пространства, а также допустимость компонентов, выступающих в кондиционируемое пространство.

Общая потребность в установке электромеханического оборудования для кондиционирования воздуха в офисных зданиях обычно составляет 8-10 процентов от общей площади помещения. Высота вентиляторных помещений составляет от 3 до 5,5 метров, в зависимости от выбранной системы распределения. На полу здания индукционные каналы и вентиляторные доводчики занимают в среднем 3-5 процентов площади пола. Трубы, воздуховоды и другое оборудование, следовательно, потребуют 3-5 процентов от общей площади пола на каждом этаже. Все эти факторы необходимо учитывать при проектировании систем кондиционирования воздуха для больших офисных зданий с существующими планировками.

В научной литературе отмечается, что автоматические и локализованные вентиляционные установки, установленные на каждом этаже офисного здания, снижают эксплуатационные расходы на 10-25 %, в зависимости от объемно-планировочного решения, по сравнению с системами кондиционирования и вентиляции, не учитывающими параметры помещений в соответствии с поэтажными решениями.

В небольших офисных зданиях лучше выбирать традиционные однотрубные низкоскоростные системы кондиционирования, а также радиальные и периферийные системы управления, подающие воздух от многозональных блоков. Следует отметить, что такие системы кондиционирования были впервые изобретены в конце 1960-х годов и были рассчитаны на подачу воздуха через оконные перегородки в центр, независимо от глубины здания. С другой стороны, мы считаем, что чем больше площадь офисного здания, тем больше возможностей для разнообразия систем кондиционирования.

Заключение

В итоге, какая бы система кондиционирования ни была выбрана (центральная, региональная или местная центральная), процесс проектирования и возможности дизайна в уже построенных офисных зданиях зависят от планировочного решения объема здания.

Существующие в настоящее время типы и планировки офисных зданий делают относительно сложным определение конкретной системы кондиционирования в качестве единого стандарта. Поскольку многие типы зданий различаются по своим характеристикам, существуют большие пробелы в определении того, что именно влияет на выбор системы кондиционирования при проектировании. Ключевыми показателями, позволяющими сделать системы кондиционирования воздуха в офисных зданиях максимально эффективными, являются планирование и проектирование объема здания, учитывающие параметры тепловой нагрузки здания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костин, А. В. Анализ теплового влияния двух внутренних параллельных печатных проводников платы, установленных на металлическое основание и расположенных в одном слое / А. В. Костин, Д. С. Богданов, И. С. Бобров // Надежность и качество сложных систем. – 2023. – № 3(43). – С. 90-99. – DOI 10.21685/2307-4205-2023-3-11. – EDN QXNUWH.

2. Воронин, Е. А. Оценка и оптимизация обеспеченности ресурсами стратегий развития отдельных отраслей промышленности и сельского хозяйства в России в условиях рыночной экономики / Е. А. Воронин // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 4(40). – С. 135-142. – DOI 10.21685/2307-4205-2022-4-14. – EDN WZKQCD.

3. Заболотин, А. Н. Использование адаптивных технологий в операционной системе / А. Н. Заболотин, Н. И. Черкасова // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2023. – Т. 2. – С. 244-247. – EDN UAHGNN.

4. Mikheev, M. Y. Secure data exchange in the system of electronic medical records using the HASBE algorithm / M. Y. Mikheev, S. Helal // Transactions of the International Symposium on Reliability and Quality. – 2022. – Vol. 1. – P. 156-159. – EDN BVQWAW.

УДК 620.9:658.011.56

Логинова[1] Л.В., Бычкова[2] К.С., Коваленко[3] А.В., Григорьев[4] В.М., Ануар[5] Г.А., Рыбаков[6] И.М., Супалдьяров[7] А.Г., Бейсембаева[8] Б.С.

[1,2,3,4,5,6,7,8] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

СПОСОБЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ И ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Аннотация. Требования проектировщиков, заказчиков и пользователей к проектированию, установке и эксплуатации систем кондиционирования в офисных зданиях варьируются в зависимости от наполняемости здания, его местоположения, внешних условий и объемно-планировочных решений, и существует множество различных типов и конфигураций современных систем кондиционирования. Точное знание их классификации и умение отличить одну систему от другой - ключ к выбору подходящей системы ОВКВ для клиента.

Ключевые слова: контроль, температурный режим, система кондиционирования воздуха, конструкция.

Loginova[1] L.V., Bychkova[2] K.S., Kovalenko[3] A.V., Grigoriev[4] V.M., Anuar[5] G.A., Rybakov[6] I.M., Supaldyarov[7] A.G., Beisembayeva[8] B.S.

[1,2,3,4,5,6,7,8] Penza State University, Penza

[1-6] kipra@pnzgu.ru

METHODS OF DESIGNING LOCAL AND CENTRALIZED TEMPERATURE CONTROL SYSTEMS

Annotation. The requirements of designers, customers and users for the design, installation and operation of HVAC systems in office buildings vary depending on the occupancy of the building, its location, external conditions and spatial planning solutions, and there are many different types and configurations of modern HVAC systems. Accurate knowledge of their classification and the ability to distinguish one system from another is the key to choosing the right HVAC system for the client.

Keywords: control, temperature control, air conditioning system, construction

В этой научной статье рассматриваются два основных типа систем кондиционирования воздуха в офисных зданиях - локальные и централизованные системы кондиционирования - и критерии выбора подходящей системы кондиционирования. Для правильного понимания обсуждаемых систем необходимо понимать основную терминологию и принципы работы систем кондиционирования воздуха. Сюда входят методы критериев проектирования систем, расчеты нагрузок, включая чувствительные и скрытые тепловые нагрузки, проходные нагрузки, нагрузки на оборудование и приборы и требования к системе кондиционирования, чертежи солнечной ориентации и теплопередачи через оболочку здания. На рисунке 1. показана простейшая схема работы системы кондиционирования воздуха в офисном здании. Такая система кондиционирования включает в себя блоки кондиционеров и систему распределения тепла. Таким образом, для охлаждения помещения необходимо удалить (передать) из кондиционируемого пространства тепловую энергию в виде ощутимого или скрытого тепла. Система распределения тепла служит средством передачи энергии между системой кондиционирования воздуха и кондиционируемым пространством. Система распределения тепла также способствует улучшению качества воздуха в кондиционируемом помещении, регулируя подачу рассчитанного количества свежего воздуха в кондиционируемое помещение.

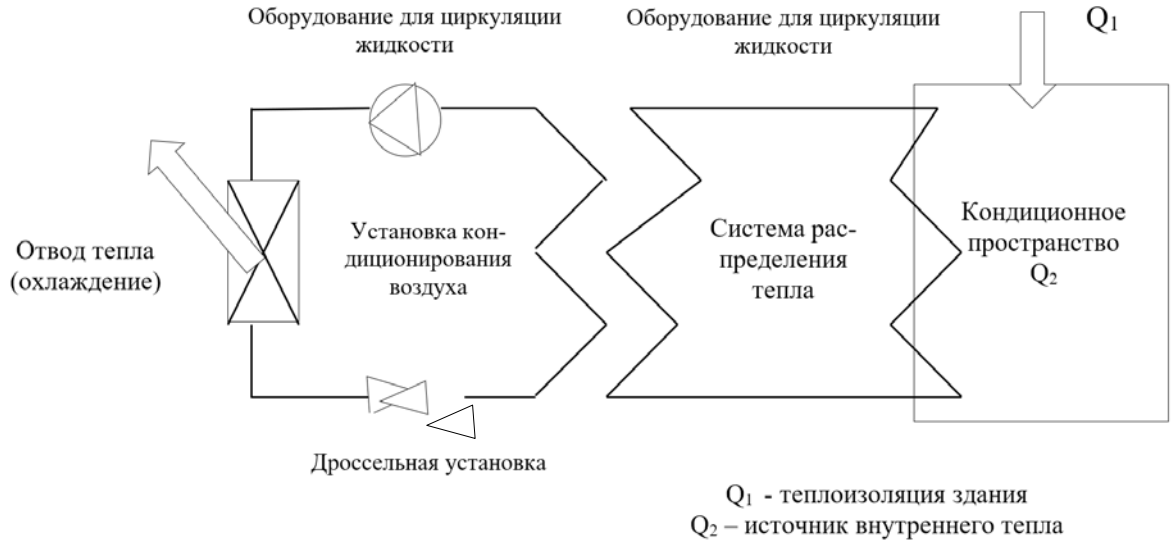


Рисунок 1 - Схема системы кондиционирования офисного здания

Существует три общих типа системы кондиционирования воздуха, с множеством вариантов, доступных внутри каждого, как показано на рисунке 2.

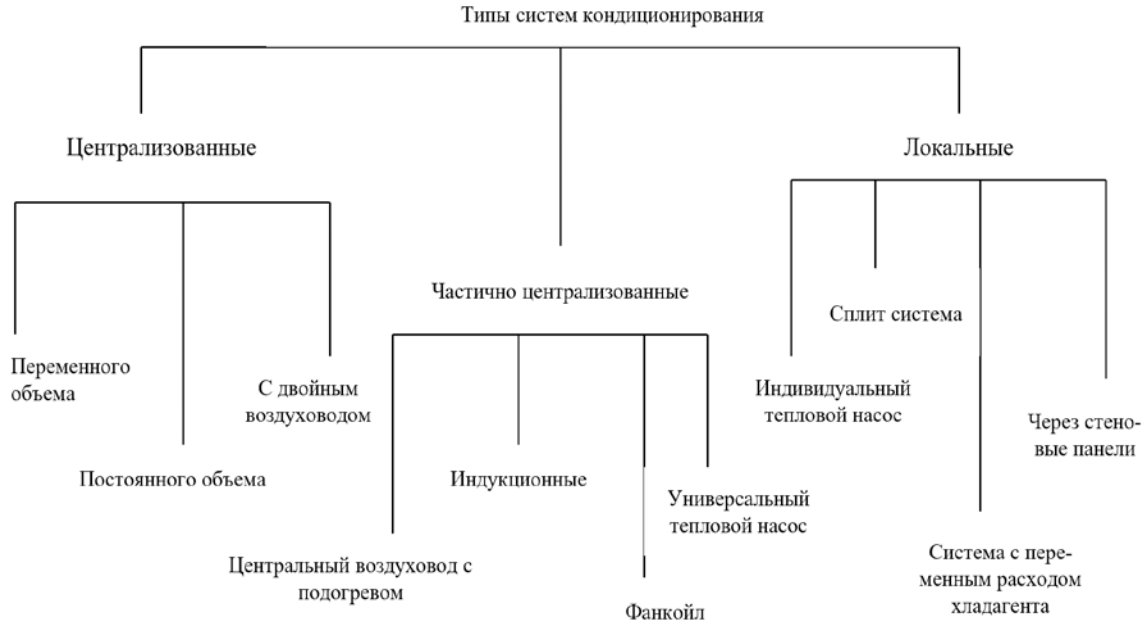


Рисунок 2 - Основные типы систем кондиционирования воздуха офисных зданий

В централизованных системах кондиционирования воздуха все процессы нагрева и охлаждения происходят в центральном помещении и передаются в каждую комнату по воздуховодам. В частично централизованных системах кондиционирования воздуха централизованный охлажденный или нагретый воздух дополнительно нагревается или охлаждается по мере поступления в каждое помещение. Локальные системы кондиционирования - это системы, в которых вся работа локализована. Возможности вариаций и комбинаций типов систем ограничены только фантазией компании, разрабатывающей систему для конкретного заказчика, и техническими параметрами здания.

Например, в относительно больших помещениях с внешними стенами, таких как офисы с открытой планировкой или офисы с большими залами, принято отделять системы кондиционирования, контактирующие с внешними стенами, от внутренних помещений, где зимой потребность в отоплении наиболее высока. В большинстве случаев центральная система кондиционирования может обслуживать только внутреннее пространство с выделенными воздуховодами и устройствами обработки воздуха вокруг него. В качестве альтернативы можно использовать две отдельные системы центрального кондиционирования.

Поскольку нагрев легче контролировать, чем охлаждение, большинство центральных систем кондиционирования и частичных центральных систем кондиционирования охлаждают предварительно перегретый воздух. Затраты, связанные с этим процессом, можно минимизировать за счет тщательного проектирования и контроля. Теперь давайте рассмотрим детали систем центрального кондиционирования воздуха в офисных зданиях. Такие системы обычно основаны на предварительно упакованных вентиляционных установках, состоящих из комбинации вентиляторов, нагревательных и охлаждающих змеевиков, фильтров, увлажнителей и регулирующих заслонок. Они также могут включать в себя упакованные тепловые насосы, вытяжные вентиляторы и устройства, возвращающие отработанный воздух обратно в здание. Если наружный воздух в кондиционируемом помещении холоднее, чем указано, через центральную систему кондиционирования подается только свежий воздух, а не само охлаждение.

Оборудование может быть настроено на различные системы распределения воздушных потоков в центральной системе кондиционирования.

Центральные системы кондиционирования воздуха для офисных зданий с одной зоной постоянного объема относительно недороги и просты в эксплуатации, но не могут адекватно управлять зонами с различными потребностями в одновременном нагреве и охлаждении. Для обслуживания разных зон может потребоваться несколько отдельных систем, что увеличивает капитальные затраты и площадь для установки системы.

Системы с переменным объемом воздуха (СПОВ) решают проблему зон с различными требованиями, изменяя количество воздуха, подаваемого в каждую зону. Воздух подается при постоянной температуре через терморегулируемый клапан, называемый СПОВ -блоком. Объем воздуха, т.е. объем охлаждения, меняется в зависимости от потребностей каждой зоны. Обычно имеется возможность сбросить "постоянную" температуру.

Использование СПОВ-блоков означает, что обслуживание блоков, которые обычно устанавливаются в потолочных пустотах, должно проводиться в помещениях, где находятся офисные работники. Однако требования к обслуживанию невелики и не должны стать серьезным препятствием при выборе наиболее подходящего варианта системы кондиционирования.

Если концепция СПОВ используется в централизованной системе, у проектировщика есть несколько вариантов оснащения системы таким оборудованием, как вентиляторы для рециркуляции воздуха в помещении и байпас. Рециркуляционные вентиляторы решают проблему одного диффузора, обеспечивая широкий переменный поток воздуха без образования сквозняков, но могут создавать шум в помещении и повышать требования к техническому обслуживанию.

Воздухообмен в централизованной системе с помощью СПОВ-блоков не влияет на комфорт в офисном помещении и упрощает общую конструкцию системы. Такой подход позволяет реализовать два потенциальных преимущества систем СПОВ. Во-первых, не все зоны охлаждения в офисе нуждаются в максимальном охлаждении в одно и то же время, и капитальные затраты можно сократить, выбрав централизованную систему с пониженными требованиями в некоторых зонах.

Во-вторых, поскольку в большинстве офисных зданий, например, в Российской Федерации, максимальное охлаждение требуется в очень редкие дни в году, использование централизованной системы переменного объема позволяет минимизировать количество воздуха, необходимого в офисе в течение большинства часов дня. Это приводит к значительной экономии энергии, снижению мощности вентиляторов и уменьшению нагрева и охлаждения воздуха.

Системы СПОВ предназначены в первую очередь для зданий с круглогодичной потребностью в охлаждении. По своей конструкции они не требуют полного охлаждения во всех зонах одновременно, поэтому их размеры обычно меньше, чем у аналогичных многозональных систем.

Системы с двумя воздуховодами могут быть построены на тех же принципах работы, что и системы с фиксированным объемом и СПОВ. Как следует из названия таких централизованных систем, используются два воздуховода, один из которых подает нагретый воздух в помещение, а другой - охлажденный, и воздух смешивается в смесительном блоке с термостатическим управлением (обычно монтируется в подвесной потолок).

Эти системы обеспечивают точный контроль температуры в помещении, но требуют относительно много места из-за необходимости использования двух комплектов воздуховодов. В системах с постоянным объемом воздуха двойные воздуховоды обычно смешивают нагретый и охлажденный воздух (затрачивая на это энергию). Работа такой централизованной системы схематично показана на рисунке 3.

Однако, когда речь идет о "комфортном охлаждении" офисных зданий, наиболее подходящими являются локальные системы, учитывающие индивидуальные потребности сотрудников. Традиционно централизованные системы кондиционирования воздуха предназначены только для летнего охлаждения. Другие функции кондиционирования, такие как подача свежего воздуха, контроль влажности и обогрев, не всегда доступны в централизованных системах.

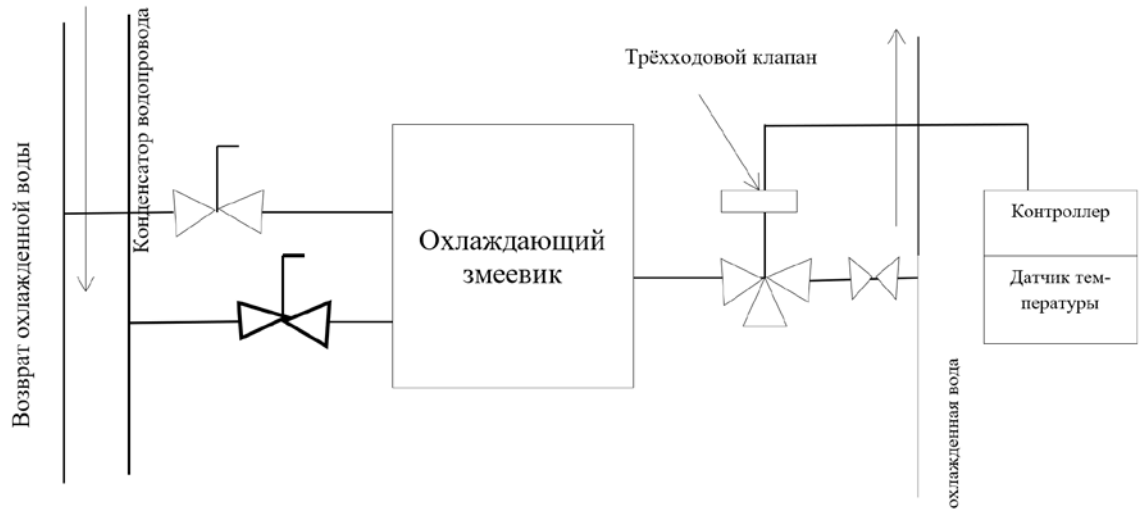


Рисунок 3 - Принцип работы системы кондиционирования с двумя воздуховодами

Существуют различные типы региональных систем. Например, настенные панельные системы, которые довольно популярны в странах Средиземноморья. Как правило, такие системы представляют собой небольшие холодильные агрегаты со встроенными вентиляторами для циркуляции воздуха. Воздух забирается из помещения,

охлаждается и подается обратно. Тепло, забираемое у воздуха, передается на внешнюю сторону стены.

Преимуществами использования таких систем в офисных зданиях являются низкая стоимость установки и простота использования с возможностью локальной настройки пользователем. Однако такие системы недостаточно эффективны для контроля температуры в помещении из-за расположения датчиков в стеновых панелях и несовершенства конструкции системы включения/выключения. Кроме того, такие системы требуют настенного монтажа, шумны и неэффективны. Сложно поддерживать большое количество таких локализованных систем в одном офисном здании. Также сложно интегрировать такие системы в централизованную систему кондиционирования.

Другой тип локализованной системы - "сплит-блок", который более распространен во многих странах, чем системы, встроенные в настенные панели. Встраиваемая в помещение часть этой системы похожа на фэн-койл, но охлаждение обеспечивается хладагентом, а не охлажденной водой. Охлаждаемая часть устройства может быть расположена вдали от зон, используемых офисным персоналом. Некоторые сплит-системы оснащены компрессорами с регулируемой скоростью вращения и усовершенствованным контролем модуляции температуры с помощью удаленно установленных датчиков. Их преимущества и недостатки аналогичны настенным системам.

Индивидуальные реверсивные тепловые насосы - еще один тип локальных систем кондиционирования воздуха для офисных зданий, принцип работы которых такой же, как у сплит-систем и настенных локальных систем.

Системы с переменным расходом хладагента - относительно новый тип локальных систем. В их основе лежит тепловой насос в сплит-системе. В таких системах несколько комнатных охладителей подключаются непосредственно к одному наружному холодильному агрегату. Поток хладагента можно изменять с помощью компрессоров с переменной скоростью в зависимости от изменения потребности в охлаждении. Современная система управления позволяет переключаться между режимами обогрева и охлаждения. В более сложных версиях внутренние блоки могут работать независимо друг от друга в режиме обогрева или охлаждения. Такой подход к кондиционированию воздуха за счет независимости блоков системы обеспечивает потенциальную экономию энергии, когда требуется одновременный обогрев и охлаждение в разных зонах офисного здания. Системы с переменным расходом хладагента универсальны с точки зрения технических решений, но, как и другие локализованные системы, они требуют значительных затрат на обслуживание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недопекин, Н. В. Оценка влияния температуры окружающей среды на режимы работы резонатора волнового твердотельного гироскопа / Н. В. Недопекин // Надежность и качество сложных систем. - 2023. - № 1(41). - С. 126-132. - DOI 10.21685/2307-4205-2023-1-15. - EDN ZRFDLP.

2. Ильин, А. С. Делитель напряжений высоковольтный ДНВ-140И для информационно-измерительных систем / А. С. Ильин, И. А. Карчев, А. П. Воронов // Надежность и качество сложных систем. - 2022. - № 1(37). - С. 108-114. - DOI 10.21685/2307-4205-2022-1-12. - EDN CRIFSX.

3. Андреев, П. Г. Прогнозирование интегрального показателя качества радиоэлектронного средства / П. Г. Андреев, Т. В. Андреева, Н. Б. Бакытжан // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. - Т. 1. - С. 174-176. - EDN CJLWNI.

4. Технологии беспилотных летательных аппаратов для сбора информации сфер человеческой деятельности на примере производителей и эксплуатантов в Казахстане / В. В. Харламов, М. Б. Абитова, Н. А. Долженко, Д. С. Ергалиев // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2022. - Т. 2. - С. 112-114. - EDN UYVIHE.

УДК 614.843.52

Антипова[1] А.С., Прохоров[2] В.Ю., Гладун[3] В.В., Евич[4] А.А.

[1,2] Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

[3] Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

[4] Научно-производственное объединение «Композит», Королев, Россия

[1] prohorovv@yandex.ru

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ НА БАЗЕ АВТОМОБИЛЕЙ «УРАЛ» И «КАМАЗ»

Аннотация. В последние годы отечественными предприятиями была сделана попытка совершить прорыв в качественном уровне и технологии изготовления пожарных автомобилей нового поколения, выпускаемых в нашей стране. Говорить о том, что в полной мере прорыв удался, пока преждевременно, хотя некоторые предпосылки для этого имеются. Анализ технических решений, уже реализованных в представленных на рынке инновационных типах и моделях пожарных автомобилей, позволяет оценить те тенденции, которые могут оказаться определяющими в развитии отечественного рынка пожарных автомобилей уже в ближайшей перспективе.

Ключевые слова: пожары, чрезвычайная ситуация, техника для тушения пожаров

Antipova[1] A.S., Prokhorov[2] V.Yu., Gladun[3] V.V., Evich[4] A.A.

[1,2] Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

[3] Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

[4] Scientific and Production Association «Composite», Korolev, Russia

[1] prohorovv@yandex.ru

TECHNICAL MEANS FOR FIGHTING FIRES BASED ON URAL AND KAMAZ VEHICLES

Annotation. In recent years, domestic enterprises have made an attempt to make a breakthrough in the quality level and manufacturing technology of new generation fire fighting vehicles produced in our country. It is too early to say that the breakthrough has been fully successful, although there are some prerequisites for this. Analysis of technical solutions already implemented in innovative types and models of firefighting vehicles on the market allows us to assess those trends that may be decisive in the development of the domestic fire fighting vehicle market in the near future.

Keywords: fires, emergency, fire extinguishing equipment

Введение

Пожары относятся к тем социальным явлениям, которые приносят моральный и материальный ущерб обществу, имеют большую социальную опасность [1]. Борьба с пожарами стала общественной потребностью, поэтому роль пожарной охраны и ее технической оснащенности в предупреждении и тушении пожаров постоянно возрастает [2].Между тем развитие цивилизации ставит перед пожарной охраной все новые проблемы. Большое количество пожароопасных материалов, новые технологии производства и переработки продуктов создают опасность превращения любого возгорания в огромный пожар, имеющий катастрофические последствия по материальным убыткам и гибели людей.

В этих условиях перед пожарными ставятся новые, все более сложные задачи. Сегодня практически во всем мире пожарная охрана развивается в направлении многофункциональности, трансформируясь при этом в пожарно-спасательную службу.

Ежегодно пожарная охрана получает из федерального бюджета средства на закупку оперативной техники, при этом основное внимание уделяется созданию и закупке новых видов пожарно-спасательной техники (ПСТ), развитию новых технологий тушения. Как следствие, появляются реальные возможности для структурной реконструкции (реструктуризации) парка ПА. Актуальность проблемы реструктуризации парка ПА очевидна. Она исходит из необходимости ПСТ, создания образцов ПА нового поколения, а также повышения эффективности эксплуатации техники, находящейся на вооружении в подразделениях [3-5].

Доставка воды к месту возгорания для локализации и тушения очага пожара. Недопущение распространения огня – это одни из главных задач пожарного расчета. Несмотря на существующие современные методики борьбы с пожарами именно специализированные автомобили играют решающую роль в обеспечении быстрого реагирования. И во многом решающим фактором является вес пожарной машины с водой как при расчете достаточности объема жидкости, так и для определения проходимости автомобиля в различных случаях.

Пожарные машины на базе УРАЛ. Отличаются повышенной проходимостью и востребованы на тушении пожаров, возникающих в труднодоступных местах при необходимости движения по участкам с отсутствием нормального дорожного покрытия. В таблице 1 представлены некоторые модификации автоцистерн на базе автомобиля УРАЛ.

Модификации автоцистерн на базе автомобиля УРАЛ Таблица 1

Модификация АЦ	Объем емкости для воды, л.	Полная масса автомобиля, кг.
АЦ 4,0-40 (43206)	4000	13235
АЦ 4,0-40 (5557)	5000	15600
АЦ 6,0-40 (5557)	6000	15600
АЦ 8,0-40 (5557)	8000	21300

Пожарный автомобиль УРАЛ-4320. На длиннобазовом трехосном шасси УРАЛ-4320 разрабатывают автоцистерны тяжелого класса с объемом резервуара для воды на 5-8 м³. Это шасси подходит для монтажа крупногабаритного оборудования и не ограничено по эксплуатации типом местности. Монтажная база УРАЛ-4320 от 3 до 6 метров. Плюсом шасси считается возможность установки двойных кабин со спальным местом. Это позволяет доставлять в зону происшествия не только команду из шести человек, но и технических специалистов, и сопровождающих лиц.

Пожарные автоцистерны на шасси УРАЛ-4320 с колесной формулой 6×6 используются как отдельные боевые единицы, так и как технические средства для перекачки воды из стороннего источника или подачи ВМП из другой машины в условиях затрудненного доступа к запасу ОТВ в населенных пунктах. Они отлично справляются с поставленными задачами независимо от внешних условий работы: бесперебойно выполняет функции при температуре окружающей среды от - 45 до +40 °С. Конструктивно эта модель представляет сочетание модульного кузова с двухрядной кабиной. В кузовной части выделяется передний отсек для ПТВ, цистерна и отсек для ПТВ с отделением для насоса. Для обогрева систем используется независимый отопитель на дизеле. Привод насоса работает от коробки отбора мощности (КОМ). Двери отсеков откидные, закреплены на телескопических опорах. Лафетный ствол монтируется на кабине боевого расчета или на крыше кузова. Использование длиннобазового шасси позволило увеличить количество отсеков для ПТВ.

Пожарный автомобиль Урал-5557. Автоцистерна пожарная АЦ-4,0-40 на шасси Урал-5557 предназначена для тушения пожаров и проведения спасательных работ. Служит для доставки к месту пожара личного состава, огнетушащих средств (вода, пенообразователь), пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательного инструмента. Модель относится к полноприводным автомобилям тяжелого класса. Основное отличие ее от 4320 состоит в комплектации широкими низкопрофильными шинами с регулируемой подкачкой, что позволяет изменять настройки в зависимости от условий эксплуатации транспортного средства. Благодаря этому автомобиль без труда преодолевает песчаные, заболоченные местности, а также проходит снежную целину в северных районах. Из особенностей конструкции всех пожарных УРАЛов выделяют комплектацию модульной кузовной частью, состоящей из цистерны для воды и пенобака, совмещенного с насосным отсеком. Кабина здесь цельносварная, рассчитана на команду из 4 человек. Дополнительно кабина оборудована переговорным блоком. На базе этого шасси выпускают: АЦ 5.0 и 5.0 NEXT; АЦ 6.0 и 6.0 NEXT.

Пожарные машины на базе КамАЗ. Доставка воды к месту возгорания автомобилями КАМАЗ – это уверенность в своевременном выполнении поставленной задачи перед боевым расчетом. В таблице 2 представлены некоторые модификации автоцистерн на базе автомобиля КамАЗ.

Модификации автоцистерн на базе автомобиля КамАЗ Таблица 2

Модификация АЦ	Объем емкости для воды, л.	Полная масса автомобиля, кг.
АЦ 5,0-40 (43114)	6000	16400
АЦ 8,0-70 (43118)	8000	20900
АЦ 9,0-40 (43118)	9000	20095
АЦ 11,0-40 (65115)	11000	22150

Пожарный автомобиль КамАЗ-43114. Автоцистерна пожарная АЦ-5,0-40 на шасси КамАЗ-43114 предназначена для тушения пожаров и проведения спасательных работ. Служит для подачи огнетушащего вещества вертикальным способом, доставки к месту пожара личного состава, огнетушащих средств (вода, пенообразователь), пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательного инструмента. При развившихся пожарах автоцистерна сразу же может подать воду или пену из стационарного лафетного ствола, тем самым предотвратить распространение огня.

В таблице 3 представлены сравнительные технические характеристики пожарной автоцистерны АЦ-5,0-40 на шасси КамАЗ-43114 и автоцистерны АЦ-4,0-40 на шасси УРАЛ-5557.

Пожарный автомобиль насосно-рукавный модульный АНРМ-130-1/150 на шасси КамАЗ-6520 с системой «мультилифт», производства ООО ТПП "Пеленг", является аналогом ранее освоенного предприятием ООО «Велмаш-Сервис» пожарного насосно-рукавного автомобиля модульного НРМ «Поток».

Сравнительные технические характеристики пожарной автоцистерны АЦ-5,0-40 на шасси КамАЗ-43114 и автоцистерны АЦ-4,0-40 на шасси УРАЛ-5557 Таблица 3

Технические характеристики	АЦ 5,0-40 (КамАЗ-43114)	АЦ 4,0-40 (УРАЛ-5557)
Колесная формула	6×6	6×6
Вместимость цистерны для воды, т	5	4
Вместимость бака для пенообразователя, л	310	240
Полная масса пожарного автомобиля, кг	15450	19300
Максимальная скорость, км/ч	90	90
Мощность двигателя, л. с.	260	275
Габаритные размеры: длина, ширина, высота, м	8,0×2,5×3,4	8,7×2,5×3,3
Насос пожарный центробежный ПН-40УВ: - производительность насоса, л/с - напор насоса в номинальном режиме, м - длина напорных рукавных линий, м	 40 100 240	 - - -
Пожарный насос типа НПЦ-40/100: - производительность насоса, л/с	- -	 40
Боевой расчет, включая водителя, чел.	7	6

АНРМ-130-1/150 на шасси КАМАЗ 6520 состоит из:

- специализированного шасси грузового автомобиля, оборудованного погрузочно-разгрузочным механизмом типа «мультилифт»;

- универсальной рамы-платформы, на которой расположены: насосный модуль контейнерного типа с насосом для забора воды и рукавный модуль контейнерного типа, а также отсек с устройством для механизации уборки рукавов.

Данный комплекс может функционировать в трех вариантах:

1. Модуль насосный + модуль рукавный;
2. Два модуля рукавных;
3. Два модуля насосных.

В России под термином «мультилифт» условно принимается класс автотранспортных средств, оснащенных грузоподъемной системой (тросовой или гидравлической) с продольным перемещением специализированного кузова (контейнера) по отношению оси шасси. Фактически Multilift – это торговая марка финской компании Partek, которая производит грузоподъемные устройства с этим названием. Из соображений безопасности современные подобные подъемники изготавливают только с крюковым механизмом. Основными преимуществами применения автомобилей с грузоподъемным устройством «мультилифт» при эксплуатации являются:

- Сокращение времени простоя этого автотранспорта;
- Сезонность производимых работ и адаптированность к выполняемым задачам;
- Взаимозаменяемость за счет использования специального универсального подрамника на сменных кузовах-модулях различного назначения;
- Сокращение финансовых затрат на содержание этого автотранспорта;
- Расширение оперативного применения за счет дополнительного оборудования крано-манипуляторными установками.

Типы контейнеров, применяемых для автомобилей-мультилифтов, могут иметь различное назначение; в зарубежных странах их количество исчисляется десятками.

Подача насоса АНРМ-130-1/150 (6520) составляет 130 л/с, длина рукавной линии диаметром DN 150 – 1000 м. Рукавный модуль имеет устройство для механизированной уборки рукавов в рукавный модуль. Оба модуля смонтированы на универсальной раме-платформе, которая может с помощью системы гидропривода шасси опускаться на поверхность земли. Механизм погрузочно-разгрузочных работ позволяет проводить операции по снятию (подъему) рамы-платформы с контейнерами за время не более 100 с.

Насосный модуль состоит из: погружного насоса с гидравлическим приводом; масляного насоса гидравлического привода, который приводится в действие двигателем внутреннего сгорания; моторизованных рукавных катушек намотки специальных масляных рукавов гидравлического привода; моторизованной подъемной лебедки для погружного насоса; электрогенератора и электрического шкафа управления.

Пожарная автоцистерна АЦ-4,0-50/4. Инновационная разработка компании ООО «ПРИОРИТЕТ» – пожарная автоцистерна нового поколения АЦ-4,0-50/4 на шасси нового КамАЗа 63934 (4х2) с кабиной К5 предназначена для доставки к месту пожара боевого расчета из шести человек, запаса воды 4 куб. м, пенообразователя (вместимость бака для пенообразователя 0,24 куб. м) и пожарно-технического вооружения для тушения водой и воздушно-механической пеной. Производительность насоса НЦПК-50/100-4/400 ступени нормального давления 50 л/с (напор насоса 100 м), высокого давления 4 л/с (напор насоса не менее 400 м). К сожалению сам

КАМАЗ-63934 все еще не выпускается серийно, а автопроизводитель выпускает только магистральные тягачи семейства К5. Машины оснащаются рядными 6-цилиндровыми дизельными силовыми агрегатами мощностью 450 л.с. от КамАЗ-Liebherr в сочетании с автоматической коробкой передач (АКПП) ZF.

Пожарные машины АГПС МЧС России. За последние 10 лет учёными Академии ГПС МЧС России совместно с производителями пожарной и аварийно-спасательной техники было выполнено 12 научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по разработке и созданию образов техники [6-12]. Анализируя разработанные при участии Академии ГПС МЧС России образцы техники, можно утверждать, что более 75 % относятся к высокотехнологичным пожарно-спасательным автомобилям:

- мобильный трап ТМ-12 (43118)150ВР, предназначенный для организации потоковой эвакуаций людей на социально значимых объектах;
- мобильный комплекс тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ в транспортных тоннелях, состоящий из:
- пожарно-спасательного автомобиля с реверсивным движением ПСА-Т-3,0-40/ 100-4/400 (ПСА-Тоннель);
- высокоманёвренного пожарно-спасательного автомобиля для эвакуации пострадавших при чрезвычайной ситуации (ЧС) в автотранспортных тоннелях ПСА-Ч (IVECO AMT 6339)-57В (ПСА-Челнок);
- высокоманёвренный пожарно-спасательный автомобиль ПСА-П-3,5-40/100-4/400 (ПСА-Поворот), в расчёт которого входит малогабаритный дистанционно управляемый передвижной роботизированный комплекс обнаружения и тушения пожара;
- мобильный комплекс «Гюрза» для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на объектах с конструкциями из высокопрочных материалов.

Впервые в России была разработана серия пожарной техники в климатическом исполнении ХЛ (для холодных климатических районов), с температурой эксплуатации до минус 60 °С:

- пожарно-спасательный автомобиль ПСА С 6.0 40(6339) (ПСА-Север);
- пожарная автоцистерна АЦ С 8,0-70(16339).

Каждый из перечисленных автомобилей представляет собой технологически емкий комплекс, предназначенный для решения целого ряда задач.

Заключение

Благодаря своей территории, климату, природным зонам, сезонности климата Россия накопила огромный опыт в тушении пожаров и их профилактике. Эти факторы лишь способствовали развитию и совершенствованию пожарной техники в России, опыт которой перенимали уже страны не только Европы, но и остального мира. Развитие современной пожарной техники в России продолжается и сейчас.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. Определение и понятия "чрезвычайная ситуация" Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2022. Т. 1. С. 87- 89.
2. Антипова А.С., Прохоров В.Ю. Классификация пожаров и техническое оборудование в подразделениях пожарной охраны России. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 1. С. 194-197.
3. Прохоров В.Ю., Червоноокая С.М., Комяков А.Н., Евдокимов Ю.М. Состояние техники и вопросы импортозамещения запасных частей и деталей с учетом геополитических изменений на отечественном рынке. Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2023. № 4. С.181-186.
4. Голубев И.Г., Прохоров В.Ю. Модернизация транспортных и технологических машин с помощью альтернативных материалов. Лесная промышленность. 2004. № 4. С. 24-27.
5. Абразумов В.В., Фролов С.В., Токарева О.В., Прохоров В.Ю. Перспективные огне- и теплозащитные материалы аэрогельного типа. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2022. Т. 2. С. 10-16.
6. Фролов С.В., Абразумов В.В., Токарева О.В., Грабарев С.П., Спирин Б.Л., Прохоров В.Ю., Фролов Д.В. Изучение огнезащитных композиционных покрытий с терморасширяющимся графитом на кремнеземной основе. Отчет о НИР. АГПС МЧС России. Москва. 2023. 48с.
7. Прохоров В.Ю., Голубев И.Г., Быков В.В. Использование новых материалов при модернизации техники. Ремонт, восстановление, модернизация. 2006. № 3. С. 18-20.
8. Прохоров В.Ю. Исследование физико-химических и трибологических характеристик углерод-углеродных композиционных материалов. Техника и оборудование для села. 2014. № 4 (202). С. 20-23.
9. Антонюк В.П., Прохоров В.Ю. Эффективность применения наносмазочных материалов в канатно-чокерном оборудовании ЛПК. Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2012. Т. 2. С. 156-157.
10. Прохоров В.Ю. Пути реализации эффекта безызносности шарнирных сопряжений. Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2013. Т. 1. С. 43-46.
11. Прохоров В.Ю., Быков В.В. Пути повышения долговечности и износостойкости подшипника скольжения навесного технологического оборудования. Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2017. Т. 1. С. 77-79.
12. Прохоров В.Ю., Лаптев А.В. Результаты исследований трибологических характеристик УУКМ для тяжелонагруженных узлов трения машин манипуляторного типа. Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2014. Т. 18. № S 2. С. 166-168.

*УДК 630*5*

Закутин[1] В.П., Череватенко[2] П.С., Прохоров[3] В.Ю.

[1,2] Межрегиональный центр компетенций – Техникум имени С. П. Королёва, Королёв, Россия

[3] Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

[1] zakutin.60@mail.ru

[3] prohorovv@yandex.ru

ТАКСАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ОЧИСТКЕ ПРОСЕК В МОСКОВСКОМ УЧЕБНО-ОПЫТНОМ ФИЛИАЛЕ ГКУ МО «МОСОБЛЛЕС»

Аннотация. Выполнена оценка потерь древесины при противопожарной расчистке просек в лесном фонде лесничества и предложено решение для ее заготовки.

Ключевые слова: противопожарная расчистка просек, таксационная оценка, потери древесины, заготовка древесины

Zakutin[1] V.P., Cherevatenko[2] P.S., Prokhorov[3] V.Yu.

[1,2] Interregional Competence Center – S.P. Korolev Technical School, Korolev, Russia

[3] Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

[1] zakutin.60@mail.ru

[3] prohorovv@yandex.ru

FOREST ESTIMATION OF WOOD LOSSES DURING CLEARING OF GLADES IN THE MOSCOW EDUCATIONAL AND EXPERIMENTAL BRANCH “MOSOBLLES”

Annotation. An assessement of wood losses during fire-fighting clearing of glades in the forestry fund has been carried out and a solution for its harvesting has been proposed.

Keywords: fire-fighting clearing of glades, forest astimation, forest losses, wood harvesting

Введение

В Лесном кодексе России заданы три основные стратегии лесопользования:

- принцип непрерывности и неистощительности лесных ресурсов;
- многоцелевого лесопользования;
- принцип предпринимательской деятельности при проведении всех лесохозяйственных работ [1].

Единственным видом лесохозяйственных работ, который, по сути, исключен из предпринимательской деятельности, является проведение противопожарных мероприятий в лесном фонде и борьба с лесными пожарами [2]. Прочистка просек в лесном фонде по Лесному кодексу России, является мерой противопожарного обустройства лесов и предназначена для ограничения распространения лесных пожаров, а также проезда специализированной лесной техники [3-5].

Для всех филиалов ГКУ МО «Мособлгес» Московским комитетом лесного хозяйства определяются объемы прочистки лесосек в соответствии с полученным государственным финансированием Рослесхоза России. Работы производятся в соответствии с требованиями технического задания в сроки и объёмах, предусмотренных календарным планом, рис.1 [6].

Филиалы распределяют финансирование по участковым лесничествам, которые намечают и вносят в свои годовые планы лесохозяйственных работ прочистку конкретных просек с указанием протяженности линий прочистки лесосек.

«В 2023 – 2024 годах подготовка к пожароопасному сезону проводится в Подмосковье в рамках нацпроекту «Экология». Национальные проекты, инициированные президентом РФ Владимиром Путиным, стартовали в 2019 году.

Особое внимание сосредоточено на прочистке противопожарных просек. В 2023 году работы проведены ГАУ МО «Центрлесхоз» во всех филиалах ГКУ МО «Мособлгес». Пройдено 845,82 км вместо запланированных 594,78 км.» [7].

В Московском Учебно-опытном филиале прочистка просек составляет 63,05 км» [8, 9]. Интерес представляет общая протяженность лесных просек – 63 километра 650 метров просек расчищены от поваленных деревьев.

На рис. 2. показан один из примеров ветровальных стволов на просеке в филиале. Как показано на рис.2, стволы деревьев, от которых приходится расчищать просеки могут быть значительных размеров и иметь запас древесины, достигающий или превышающий 1 м^3 [10].

Однако, филиалам ГАУ МО «Центрлесхоз», которые эти работы выполняют, запрещено забирать эту древесину. По факту, раскряжеванная древесина убирается с просеки в границы ближайшего лесотаксационного выдела и остается там.

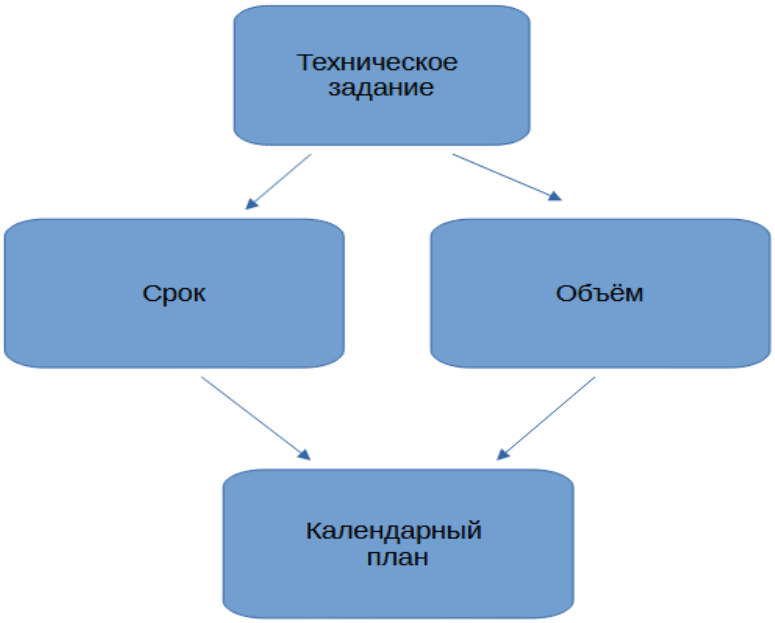


Рисунок 1 - Планирование работ по противопожарной расчистке лесосек

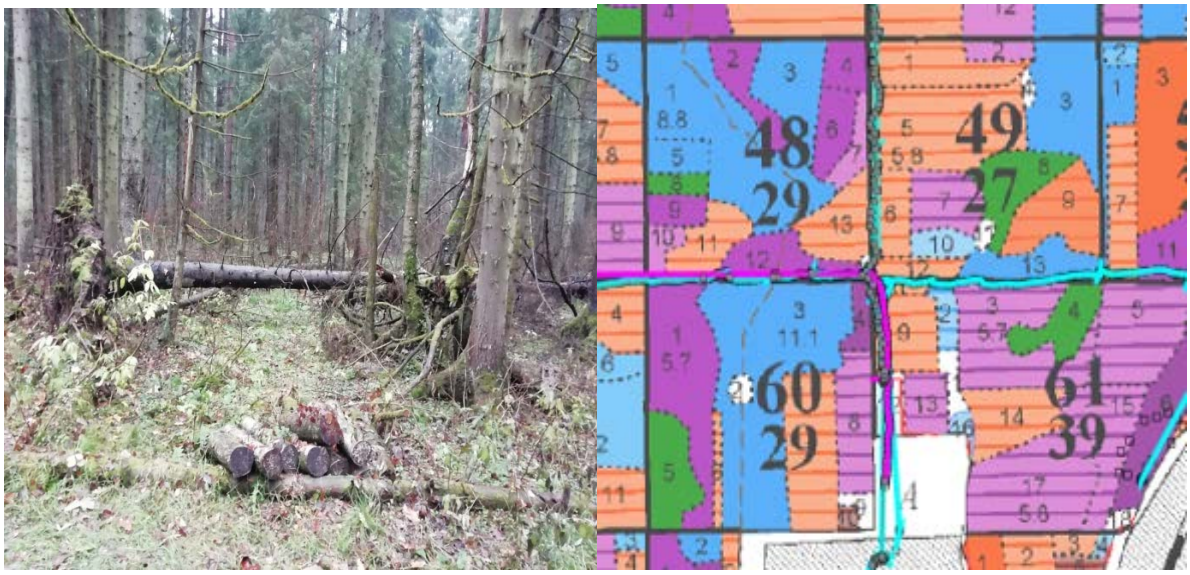


Рисунок 2 - Просека, разделяющая 48 и 49 лесные квартала в Учебно-опытном участковом лесничестве Московского Учебно-опытного филиала ГКУ МО «Мособллес»



Рисунок – 3. Геофиксация учетных стволов мобильным GPS-навигатором

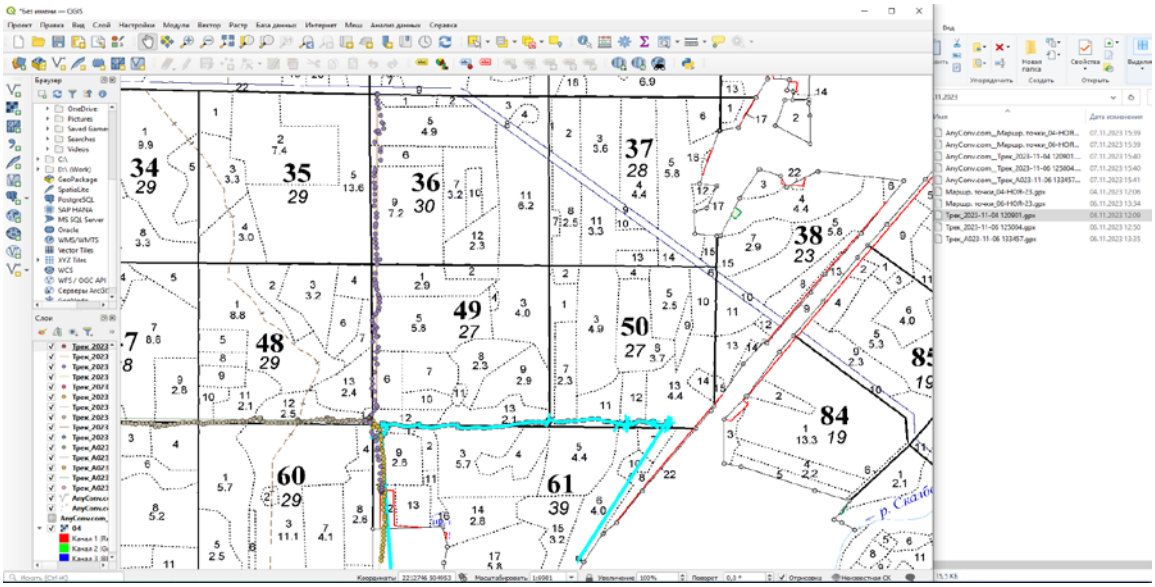


Рисунок 4 - Обработка картографических материалов полевых обследований учетных ветровальных и буреломных стволов на противопожарных просеках в ГИС Qwantum

Заключение

Результаты таксационной оценки потерь древесины, которые за осенне-весенний сезон в результате ветровалов и снеголомов «вываливаются» на просеки, составляют от 1,0 до 2.2 м^3 на 1 километр маршрутного обследования. В пересчете на протяженность расчищенных просек потери древесины, которые не рассматриваются как объект лесозаготовки при устройстве противопожарных просек являются значительными в Московском Учебно-опытном филиале ГКУ МО «Мособллес».

Такие потери древесины для лесного комплекса, который должен быть встроен в единую систему мобилизационной экономики страны, не допустимы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 02.07.2021 г.). "Лесной кодекс Российской Федерации" от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 30.12.2021 (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022).
2. Фролов Д.В., Токарева О.В. Алгоритмы управления при ведении оперативно-тактических действий пожарными подразделениями. Отчет о НИР. АГПС МЧС России. Москва. 2017. 84с.
3. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. Определение и понятия "чрезвычайная ситуация" Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2022. Т. 1. С. 87- 89.
4. Акинин Д.В., Комаров Г.О., Прохоров В.Ю. Методика проектирования близкой к оптимальной структуры парка лесных машин. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2014. Т. 2. С. 178- 179.
5. Акинин Д.В., Комаров Г.О., Прохоров В.Ю. Предпосылки к определению структуры парка лесных машин. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2014. Т. 2. С. 179-180.
6. Закутин В.П., Гузанов Е.В., Прохоров В.Ю. Мониторинг состояния дубрав лесопарковой части лесного фонда Учебно-опытного лесничества. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2023. Т. 1. С. 415-417.
7. Закутин В.П., Замятина Д.В. Стратегия проектирования неистощительности ресурсов лесного фонда лесничества на основе теории лесной системы. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 2. С. 15-16.
8. Антипова А.С., Прохоров В.Ю. Классификация пожаров и техническое оборудование в подразделениях пожарной охраны России. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 1. С. 194-197.
9. Фёдоров В.В., Шестов А.Н., Прохоров В.Ю. Определение потребности запасных частей лесовозных автомобилей в условиях лесопромышленных предприятий. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Т. 2. С. 181-182.
10. На землях гослесфонда Московской области началась прочистка квартальных просек. https://sudact.ru/law/prikaz-rosleskhoza-ot-10112011-n-472-ob/metodicheskie-rekomendatsii-po-provedeniiu-gosudarstvennoi. (дата обращения 14.02.2024).
11. В Московском учебно-опытном лесничестве вышли на... klh.mosreg.ru›sobytiya/novosti-ministerstva/18-09-2023. (дата обращения 14.02.2024).

УДК 656.212.2.073.21

Жданов[1] А.Г., Перевертов[2] В.П., Новикова[3] В.Н., Рыжов[4] А.А.

[1,2,3] Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

[4] Научно-исследовательский институт электромеханических приборов, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

ЭФФЕКТИВНОЕ КРЕПЛЕНИЕ КОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПЛАТФОРМЕ

Аннотация. В статье обоснована необходимость надежности крепления колёсной техники на открытой железнодорожной платформе при возрастающих нагрузках и скоростях движения подвижного состава. Рассмотрены технические средства, применяемые для крепления колесной техники при ее перевозке, и новая конструкция устройства для ускоренного крепления техники на железнодорожной платформе.

Ключевые слова: колёсная техника, надёжность, подвижной состав, платформа железнодорожная, крепление, конструкция, устройство, приспособление, средства и элементы крепления, растяжка, многооборотные средства крепления

Zhdanov[1] A.G., Perevertov[2] V.P., Novikova[3] V.N., Ryzhov[4] A.A.

[1,2] Samara State University of Railway Engineering, Samara, Russia

[4] Scientific Research Institute of Electromechanical Devices, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

EFFECTIVE FASTENING OF WHEELED VEHICLES ON A RAILWAY PLATFORM

Annotation. The article substantiates the need for reliable fastening of wheeled vehicles on an open railway platform with increasing loads and speeds of rolling stock movement. The technical means used for fastening wheeled vehicles during their transportation and the new design of the device for accelerated fastening of equipment on a railway platform are considered.

Keywords: wheeled machinery, reliability, rolling stock, railway platform, fastening, structure, device, contrivance, means and elements of fastening, stretching, multi-turn fastening means

Актуальность. «Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года» предусматривает увеличение осевых нагрузок грузовых вагонов до 27…30 тс и скоростей движения до 200 км/ч, снижение удельного расхода электроэнергии на тягу поездов на 4%, улучшение тяговых свойств на 20…30% и. т. п [1-3,4-6,7-9].

Анализ строительства в России высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) для перевозки пассажиров и грузов показал, что риском инвестиционных проектов является длительный срок окупаемости, надежность и безопасность подвижного состава (ПС). Создание ПС, работающих на силовых газотурбинных двигателях (ГТД) и электрической передаче переменно-постоянного тока обеспечит сокращение сроков окупаемости ВСМ. Эксплуатационный режим силовых установок высокоскоростных поездов характеризуется работой на номинальной мощности. Ключевую роль в движении ВСМ приобретает требования малого веса и аэродинамической формы высокоскоростного ПС, возможность замены электропоездов автономными газотурбинными мотор-вагонными поездами, оснащенных системами диагностики параметров, ГТД, что [1-3], [5-7]. Это улучшит управляемость ПС, повысит разгонные и тормозные характеристики, безопасность движения, энергоэффективность данного вида тяги, увеличит пропускные способности железных дорог.

Одним из важнейших элементов железнодорожной транспортной системы, от уровня развития и состояния которого в значительной мере зависит провозная способность дорог и безопасность движения поездов, являются тормозные системы (устройства) подвижного состава (ПС) и путевых машин (ПМ) для регулирования скорости на уклонах, при подъезде к станциям и т.д. Решение проблемы уменьшения износа в системе «колесо-рельс» возможно только модернизацией элементов рельсовой железнодорожно-транспортный системы на основе новых материалов и сплавов и технологий формообразования колесной пары методами обработки давлением (штамповка колесных пар, прокатка рельс и т.д.[1-5,6-9].

Конструктивные изменения элементов железнодорожной транспортной системы должны обеспечить минимальные продольные линейные скорости проскальзывания по кругу катания колес вагона, уменьшить угол набегания их на рельс, уменьшить длину извилистой траектории движения колесных пар на прямых участках пути и обеспечить ее радиальную установку в кривых [4-6]. Наибольшие возможности для выполнения перечисленных условий может дать конструктивное совершенствование колесных пар, за счет внесения в конструкцию дополнительных элементов, позволяющих устранить жесткую связь между вращением двух колес одной пары [1-6,8].

Увеличение грузоподъёмности железнодорожных платформ, вагонов, и скоростей их движения ведет к увеличению нагрузок, которые зависят от:1 - продольных горизонтальных инерционных сил, возникающих вследствие соударения вагонов при движении поезда, во время маневров, спуска с горок и в процессе торможения; 2 - поперечных горизонтальных инерционных силы, возникающих при движении вагонов

и при вписывании их в кривые участки пути; 3- вертикальных инерционных сил, вызванных ускорениями при колебаниях движущегося вагона;4 - силы ветра; 5- силы трения;6 - массы техники.

Контроль и диагностика вышеперечисленных нагрузок повысит надежность и безопасность передвижения ПС на основе разработанных патентов на изобретения, уменьшает износ конструктивных элементов тележек вагонов за счет применения гибридных технологий на основе композитов и наноматериалов и т.п.

Модернизации тележек ПС обеспечит минимальные продольные линейные скорости проскальзывания колес вагона, уменьшит угол набегания их на рельс и т.д. Наибольшие возможности для выполнения перечисленных условий может дать комплексное конструктивное совершенствование колесных пар за счет: 1 внесения в конструкцию дополнительных элементов, позволяющих устранить жесткую связь между вращением двух колес одной пары ; 2- совершенствования тормозных устройств подвижного состава (ПС) и путевых машин (ПМ), для регулирования скорости на уклонах, при подъезде к станциям и т. д. , и от которых зависит провозная способность дорог и безопасность движения поездов; 3- применения инновационных материалов (наноматериалов) и гибких технологий, которые позволяют повысить надёжность элементов конструкций и снизить их массу [1, 2, 4-7].

Повышение надёжности крепление колесной техники наряду с эффективным торможением, обеспечит устойчивость и безопасность её в условиях действия различных нагрузок, возникающих при движении поезда и маневровой работе [3, 4-6].

*П*роведенный анализ существующих средств и технологий крепления колесной техники на железнодорожных платформах обосновал применение нового унифицированного устройства крепления для применения на железных дорогах ОАО РЖД, включая ВСМ.

На железных дорогах РФ непрерывно растет объем грузовых и пассажирских перевозок, для выполнения которого требуется повышать скорости и увеличивать вес поездов, надежность и качество услуг на основе применения порошковых и композиционных материалов и гибких технологий, включая наноматериалы [7-9], параметры показателей которых необходимо контролировать с помощью современных датчиков и устройств, включая интеллектуальные. В основе принципов выбора датчика для обеспечения измерений лежит **принцип максимального соответствия требований** измерений и возможностей (характеристик) датчика. Адекватный выбор требует априорных знаний, как об объекте измерений, так и о датчиках, из которых должен быть сделан выбор. Если требуемого соответствия достичь не удается, то необходимо убедиться, что требования к датчику являются принципиально реализуемыми.

Колесная техника с пневматическими шинами, перевозимая на открытом подвижном составе, относится ко второй группе грузов по частоте отцепления платформ на пунктах осмотра станций сети железных дорог, после лесных грузов. Причем статистические данные показывают, что с каждым годом количество отцепленных вагонов с колесной техникой продолжает увеличиваться. Основными неисправностями при этом являются: ослабление гибких элементов креплений, сдвиг колёсной техники относительно пола платформы и т.д.

Для крепления колесной техники согласно ТУ [7] используются следующие способы крепления: одноразовые и многооборотные. Разовые крепежные средства: 1- ***проволочные растяжки***, располагаемые по две с передней и задней сторон единицы техники и направленные в противоположные стороны (количество нитей в растяжках зависит от массы единицы техники и состояния тормозной системы); 2- ***продольные*** *и* ***поперечные упорные бруски.*** Поперечные упорные бруски служат для подклинивания колес от перекатывания при перевозке. Форма таких брусков должна иметь установленное сечение, длина должна быть больше ширины обода колеса. Количество гвоздей для крепления упорных брусков зависит от их количества и массы единицы техники. Согласно ТУ, параллельно колесам с внутренней или наружной стороны необходимо устанавливать продольные бруски установленного сечения на расстоянии 20…30 мм от них; 3- ***продольные деревянные подкладки*** используются, если нагрузки, передаваемые отдельными колесами единицы техники на пол вагона, превышают установленные величины. Количество подкладок и размеры их зависят от расстояния от продольной плоскости симметрии платформы до центра опоры колеса на пол платформы; 4- ***деревянные подставки*** применяются для предотвращения боковой качки и устанавливаются под лонжероны и закрепляются к полу платформы гвоздями.

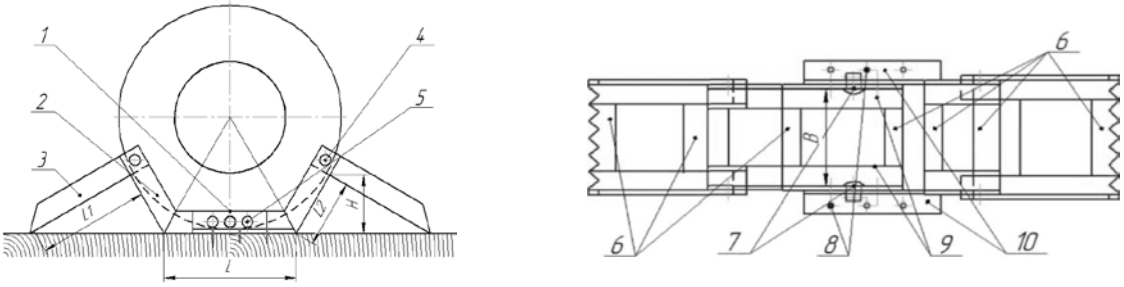
Недостатками крепления техники **одноразовыми креплениями** (растяжки, обвязки, увязки, упоры, подкладки, прокладки, стойки и т.п.), являются: время крепления; применение большой физической силы; одноразовое использование материала крепления; ослабление натяжения проволоки во время движения. Требуется выявлять ослабленные, провисшие растяжки (обычно на ПКО станций) и подтягивать их, если необходимо [4-6].

К **перспективным средствам крепления колесной техники** на открытом подвижном составе (**ПС**) можно отнести различные типы **многооборотных средств креплений**: - цепные крепления с использованием винтовых и храповых **талрепов** и универсальных упорных средств.

Существующие патенты на упорные устройства крепления машин, представляют собой продольные и поперечные упоры с ножами, которые при наезде на них техники, фиксируются в поле железнодорожных платформ. Недостатками таких креплений является:1 - сложная технология изготовления и применения нестандартных деталей при изготовлении комплекта; 2 - использование нескольких приспособлений комплекта для закрепления одного колеса; 3 - потребность в достаточно большом времени для крепления техники ;4 – низкая надежность обеспечения безопасности при длительном его использовании и универсальность крепления.

На кафедре НТТС СамГУПС было предложено универсальное устройство (рисунок 1) для ускоренного крепления колесной техники на железнодорожной платформе [4].

На рисунке 1 показана схема приспособления крепления техники на железнодорожной платформе в рабочем состоянии (а) и исходном состоянии (б).



а. б.

1-основание; 2-опорная рамка; 3-упор; 4-шарнирное соединение; 5-отверстие; 6-полоса; 7-палец; 8-штыри; 9-внутренняя часть основания; 10-внешняя часть основания
а. - в рабочем состоянии: б. - в исходном состоянии

Рисунок 1 - Схема приспособления крепления техники на железнодорожной платформе

Особенностью устройства является то, что основание приспособления выполнено разъёмным, состоит из внутренней и внешней частей, соединенных между собой шарнирно с помощью пальцев, вставленных в отверстия, выполненные в продольных уголках частей основания, при соответствующем соединении которых обеспечивается регулировка длины основания, а концы основания прилегают к опорным рамкам через сварное соединение под углом 120°.Дополнительное введение в приспособление разъемного основания, состоящего из внутренней и внешней частей, с возможностью различного их соединения, при прилегании концов основания к опорным рамкам посредством сварки, выполненной под углом 120°, позволяет регулировать длину основания, что ведет к унификации приспособления и сокращению времени как на погрузку, так и выгрузку колесной техники на железнодорожные платформы 4-[6].

Приспособление для ускоренного крепления колёсной техники на железнодорожных платформах характеризующееся тем, что оно включает основание 1, опорную рамку 2 и упоры 3 состоящие из двух продольных стальных уголков и двух поперечных полос 6, соединенных между собой с возможностью прилегания одной части к другой сварным соединением. Основание 1 состоит из двух частей внутренней 9 и внешней 10, которые соединены через отверстия 5, выполненные в уголках основания 1, пальцами 7. Соединение разных отверстий позволяет регулировать длину основания L (рисунок 1).

Оптимальной является модель – «окружность, вписанная в правильный шестиугольник», где окружность – это колесо, а нижние стороны шестиугольника – часть приспособления. Зная диаметр колеса D можно определить длину основания L по формуле: $L=D\cdot tg30^\circ\approx 0{,}57D$.

Обжатие колес техники происходит опорными рамками 2, одна сторона которых соединена сваркой с внутренней и внешней частью основания под углом 120°, а другая – через шарнирное соединение 4 с упорами 3.

Высота опорной рамки 2 в нижней точке над платформой H (рисунок1) должна быть не меньше высоты бруска для фиксации колесной техники (таблица 1), в соответствии инструкциями о порядке размещения и закрепления вооружения и военной техники на железнодорожном подвижном составе. Так как высота прилегания упора к колесу H не регулируется, то выбирают наибольшую высоту бруска для нескольких типоразмеров колес, например, для колес диаметром от 500 до 1100 мм – H=75 мм, а для колес – от 1100 до 1600 мм и более – H=220 мм (таблица 1). Таким образом, изготавливают два приспособления для всех типоразмеров (диаметров) колес [4-6].

Размеры упорных брусков для колесной техники [12] Таблица 1

Габариты бруска	Диаметр колеса, мм.					
	До 500	500… 800	800… 1100	1100… 1400	1400… 1600	Более 1600
Высота, мм. (H)	40	50	75	100	135	150
Ширина, мм.	100	100	120	150	200	220

Длина упора 3 (L1) опорной рамки (L2) определяются из прямоугольных треугольников в зависимости от Н (рисунок1).

С нижней стороны внешней части основания 1, обращенной к платформе, в продольных уголках закреплены штыри 8, которые под весом машины вдавливаются в деревянный настил платформы. Фиксация колес перевозимой техники обеспечивается вертикальными полками уголков основания 1, опорными рамками 2, упорами 3 с косыми срезами, полосами с зубьями 6 и штырями 8, которые надежно удерживают приспособление от продольных и поперечных перемещений.

Приспособление для ускоренного крепления колёсной техники на железнодорожных платформах работает следующим образом. Машина подается на платформу на малой скорости, останавливается там, где планируется её размещение при транспортировке. Машина затормаживается, производится разметка мест установки приспособлений для крепления передних и задних колес: отмечаются проекции осей колеса, под которые требуется установить приспособление, а также наносятся метки по внешней стороне колес на полу платформы слева и справа машины.

Машина подается назад на такое расстояние, которое позволит уложить приспособления для крепления передних и задних колес на пол платформы (не менее половины длины приспособления в исходном состоянии).

Приспособления укладываются под колеса, требующих крепление на пол платформы, так чтобы центр шарнирного соединения внутренней 9 и внешней 10 частей основания 1 совпадали с метками, от проекций осей на пол платформы, а внутренняя часть уголка основания с меткой по внешней стороне колес, сделанными ранее.

Машина, двигаясь вперед, упирается колесами в шарнирно закрепленные части оснований 1, распрямляет его, одновременно с этим, происходит поднятие опорных рамок 2 и упоров 3. Опорные рамки 2 обжимают колеса, а штыри 8 и упоры 3 с косым срезом и полосы с зубьями 6 вдавливаются в пол платформы под действием силы тяжести машины. Машина затормаживается, включается пониженная передача и стояночный тормоз [4-8]. Предлагаемое приспособление для ускоренного крепления колёсной техники на железнодорожных платформах, является многооборотным, обладает простотой конструкции и повышенной унификацией, надежно удерживает технику от продольных и поперечных перемещений вдоль и соответственно поперек платформы, сокращает время на крепление при погрузке, так и выгрузке колесной техники на железнодорожные платформы более чем в 2 раза по сравнению с существующими креплениями колесной техники.

Выводы. 1 Повысить надежность ускоренного крепления колесной техники на открытом подвижном составе можно за счет использования для крепления упругих многооборотных цепных креплений в сочетании с талрепами, позволяющих использовать их для различных типоразмеров колёс. Данный способ крепления удобный, экономически эффективный и надежный.

2. Применение предлагаемой конструкции тормозной системы, позволит уменьшить износ фрикционных поверхностей пар трения, увеличить ресурс работы в 1,2...1,3 раза, по сравнению с типовыми тормозами тележек вагона ПС, а контроль и диагностика основных параметров железнодорожной техники (системы) с помощью датчиков и устройств контроля на основе использования современных бесконтактных методов измерения: лазерный, инфракрасный, ультразвуковой, волоконно- оптический и т.д. позволит повысить надежность ПС.

3. Использование бесконтактного способа регистрации профиля дисков с помощью лазерного датчика и сканирующего устройства позволит получать информацию о параметрах профиля рабочей поверхности тормозных дисков железнодорожного колеса, включая анализ полного профиля тормозных дисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перевертов В.П. Диагностика и управление кузнечными машинами в гибких производственных системах: монография /В.П. Перевертов.- Самара: СамГУПС, 2021.- 291 с.
2. Перевертов В.П. Метрология. Стандартизация. Сертификация: учебник /В.П. Перевертов.- Самара: СамГУПС, 2023.- 242 с.
3. Перевертов В.П. Материаловедение и гибкие технологии: учебник/ В.П. Перевертов. - Самара: СамГУПС, 2020 .- 230 с.
4. Патент РФ №218902 Приспособление ускоренного крепления колесной техники на железнодорожных платформах А.Г. Жданов, В.П.Перевертов. Бюл. № 12,2023г.
5. Патент РФ №2658065 Колёсная пара рельсового транспортного средства /А.Г. Жданов, МПК В60В37/00; опубл. 19.06.2018 г., Бюл. № 17
6. Патент РФ №2717269 Дисковый тормоз колесной пары с независимым вращением колес /А.Г. Жданов, В.П. Перевертов., Бюл. № 8 2020г.
7. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. – М.: Юртранс, 2003. - 544 с.
8. Повышение надежности тормозной системы подвижного состава / Жданов А.Г., Перевертов В.П // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2022. Т. 2. С. 128-130.
9. Жданов А.Г. Материалы наземных транспортно-технологических средств: учебник/ А.Г. Жданов. - Самара: СамГУПС, 2023 .- 143 с.

УДК 628.477.6

Алатин[1] С.Д., Подгорбунских[2] В.М.

[1,2] Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа, Россия

[1] era_1@mil.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ PET-ПЛАСТИКА В ФИЛАМЕНТ ДЛЯ ПЕЧАТИ 3D-ПРИНТЕРОМ

Аннотация. В настоящее время наметилась тенденция к увеличению объема пластмассовых отходов. Рассматривается способ переработки пластиковой тары. Предлагается технология переработки PET-тар путем формовки пластиковой ленты в филамент для 3D-печати. Представлены основные этапы подготовки исходного сырья.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, PET-пластик, переработка пластмассы, 3D-печать, филамент для 3D-печати

Alatin[1] S.D., Podgorbunskikh[2] V.M.

[1,2] Military Innovative Technopolis "ERA", Anapa, Russia

[1] era_1@mil.ru

THE TECHNOLOGY OF PROCESSING PET PLASTIC INTO A FILAMENT FOR PRINTING WITH A 3D PRINTER

Annotation. Currently, there is a tendency to increase the volume of plastic waste. The method of processing plastic containers is being considered. A technology for processing PET containers by forming plastic tape into a filament for 3D printing is proposed. The main stages of preparation of raw materials are presented.

Keywords: environmental pollution, PET plastic, plastic recycling, 3D printing, filament for 3D printing

По данным некоммерческой организации Ocean Conservancy, занимающейся борьбой с загрязнением мирового океана, в мировой океан ежегодно попадает 11 миллионов тонн пластика, и уже сейчас океан содержит в себе 200 миллионов тонн пластмассы. [1] Такой уровень загрязнения оказывает свое влияние на всю экосистему планету и, в конечном счете, на организм каждого человека [2]. Немаловажным фактором является время разложения пластика, составляющее несколько сотен лет в естественной среде.

Наиболее широко распространен PET-пластик (полиэтилентерефталат), использующийся в упаковках пищевых продуктов. По сравнению с другими материалами, такими как алюминий или стекло, его себестоимость ниже.

Важной особенностью является то, что сжигание пластика сопровождается выделением ядовитых веществ. Также использование вторичного пластика становится более дорогостоящим, а потребительские свойства такого пластика снижаются [3].

В то же время, необходимо отметить развитие технологий в области 3D-печати. Использование PET-пластика в качестве сырья для 3D-печати гораздо перспективнее. Пруток из пластмассы, используемый при 3D-печати, называется филамент.

Во-первых, нет необходимости очищать пластик до возможности контакта с пищевыми продуктами.

Во-вторых, использование филамента из переработанного пластика в 5,8 раз дешевле, чем из традиционного сырья. Вывод был сделан на основе сравнения стоимости сырья для изготовления филамента с розничной ценой пластиковой бутылки на примере емкости объемом 1,5 л [4]:

цена новой бутылки составляет 10 руб.;

вес одной бутылки составляет 42 г.

При изготовлении филамента дно и горлышко не используются. От бутылки остается 30 г пластика. В одном килограмме 34 шт. пластиковых бутылок, что составляет 340 руб. Стоимость катушки заводского пластика 1 кг составляет 1990 руб. [5]. Финансовый эффект улучшается в 5,8 раза.

Технологический процесс переработки PET-пластика начинается с подготовки сырья. Бутылки промывают от остатков пищевых продуктов под проточной водой. В случае содержания в продукте сахара необходимо проводить этот процесс более тщательно.

В процессе изготовления филамента, пластик нагревается, и сахар, находящийся на поверхности пластмассы, карамелизуется и чернеет. Это не только снижает потребительские свойства изготовленного филамента, но и засоряет сопло экструдера 3D-принтера.

Для получения ленты, которая будет формоваться в филамент, необходима ровная поверхность без узоров, которые выполняют на бутылках. Для этого в бутылки нагнетается давление и путем нагрева поверхности бутылки горячим воздухом выпрямляют ее.

Далее следует нарезка и формовка. Чтобы получить филамент, необходимо нарезать пластиковую бутылку и распустить ее в пластиковую ленту. Ширина ленты имеет большое значение, так как в случае недостаточной ширины филамент будет содержать

в себе полость или вовсе не замкнется. Если ширина будет избыточна, материал не сможет пройти через сопло при протяжке филамента.

Стандартные диаметры филамента - 1,75 мм, 2,85 мм и 3 мм [9]. Диаметр 1,75 мм является более популярным. Он используется при быстрой печати и меньше подвержен разрушению на воздухе. Поэтому в работе речь идет о филаменте диаметром 1,75 мм. Лента подается в сопло диаметром 1,75 мм. В данной конструкции применяется стандартный элемент 3D-принтера – хотенд, который представляет собой алюминиевый блок со встроенными нагревательным элементом, датчиком температуры и соплом. Сопло нагревается до определенной температуры протяжки, обеспечивая пластиковой ленте размягчение. Нет необходимости добиваться расплавления пластика по всему объему. Нужно повысить его деформационные свойства, позволяя сохранять прочность при напряжениях растяжения.

При нагреве, пластиковая лента усаживается, становится более пластичной и растягивается под нагрузкой. Эти явления нельзя игнорировать, потому что они влияют на заполнение филамента. Процесс образования филамента пояснен схемой на рисунке 1.



I этап II этап III этап

Рисунок 1 – Схема, поясняющая скручивание ленты в полнотелый филамент

Филамент сильнее деформируется по краям ленты. При прохождении через сопло, края ленты загибаются внутрь объема, заполняя полость. При нагреве, некоторая часть ленты плавится и заполняет внутренний объем. Одновременно с этими процессами происходит неупругая деформация пластика, и он растягивается.

При большей ширине ленты лишний материал задерживается в сопле и заполняет пустоты в филаменте по мере необходимости. Это позволяет снизить требования к точности ленты по ширине.

Наиболее эффективный способ получения филамента – вытягивание. Этот процесс должен осуществляться при равномерной скорости, потому что из-за остановок филамент перегревается в хотенде и повреждается. В случае кратковременных остановок, на поверхности филамента образуются заусенцы и наплывы, а в случае продолжительной остановки процесс протяжки и вовсе может прерваться.

Важную роль в процессе изготовления филамента играет охлаждение. В случае отсутствия обдува протянутого прутка необходимо обеспечить ему естественное охлаждение, т.е. увеличить расстояние между двигателем и хотендом. В противном случае, филамент деформируется уже на катушке, приобретая овальную форму сечения. Этот пруток будет бракованным, так как не пройдет через двигатель подачи 3D-принтера. Таким образом, переработка становится выгодной. Материал, получаемый из переработанного пластика, прошел испытания в области 3D-печати. Из этого пластика рекомендуется печатать элементы оформления, украшения, детали для роботов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Problem with Plastics [Электронный ресурс]. URL: https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/plastics-in-the-ocean/ (дата обращения: 08.03.2024).
2. Корнилов К.Н., Роева Н.Н. Определение содержания различных наночастиц в питьевой воде и жидких пищевых продуктах // Health, Food & Biotechnology. 2019, т. 1, №2. С. 77-87
3. Каргинова-Губинова В.В., Тишков С.В., Щербак А.П., Волков А.Д. Сущность и методы урегулирования экономических и экологических конфликтов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2020. №2. С. 3-10
4. Официальный сайт организации Инсайт-имидж https://www.cka-klin.com/pet_butilki_cena/
5. Официальный сайт производителя филамента для 3D-печати «BESTFILAMENT» https://bestfilament.ru/category/plastik-Bestfilament/
6. Modelmen Life (2022) Филамент для 3д печати из ПЭТ бутылок [любительское видео]// YouTube. 5 июня (https://www.youtube.com/watch?v=z3wqyffIosw&ab_channel=ModelmenLife) Дата обращения: 13.03.2024
7. Georgiy Grushin channel (2022) Протяжка филамента для 3D принтера из ПЭТ бутылок. [любительское видео]// YouTube. 22 августа (https://www.youtube.com/watch?v=jvybqvaTHfo&ab_channel=GeorgiyGrushinchannel) Дата обращения: 13.03.2024
8. sergiuszf federowicz (2019) Протяжка филамента для 3D принтера из ПЭТ бутылок. [любительское видео]// YouTube. 1 августа (https://www.youtube.com/watch?v=M1GwJjOaqjM&ab_channel=sergiuszffederowicz) Дата обращения: 13.03.2024
9. ГОСТ Р 59100— 2020. Библиографическая ссылка. Пластмассы. Филаменты для аддитивных технологий (2020) // Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Москва: Стандартинформ.

УДК 628.477.6

Аверкин[1] Д.А., Подгорбунских[2] В.М.

[1,2] Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа, Россия

[1] era_01@mil.ru

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПЕРЕРАБОТАННОГО PET-ПЛАСТИКА

Аннотация. В статье рассматриваются предложения по применению переработанного PET-пластика. Описаны преимущества и недостатки технологии переработки PET-тар путем формовки пластиковой ленты в филамент для 3D-печати. Произведено сравнение уже существующих основных филаментов для 3D-печати с переработанным PET-пластиком.

Ключевые слова: PET-пластик, переработка пластмассы, 3D-печать, филамент для 3D-печати, область применения

Averkin[1] D.A., Podgorbunskikh[2] V.M.

[1,2] Military Innovative Technopolis "ERA", Anapa, Russia

[1] era_01@mil.ru

SUGGESTIONS FOR THE USE OF RECYCLED PET PLASTIC

Annotation. The article discusses proposals for the use of recycled PET plastic. The advantages and disadvantages of the technology of processing PET containers by forming plastic tape into a filament for 3D printing are described. The comparison of existing basic filaments for 3D printing with recycled PET plastic has been made.

Keywords: PET plastic, plastic recycling, 3D printing, filament for 3D printing, scope of application

В России в результате широкого распространения напитков в PET-упаковках, на свалках бытовых отходов оказалось свыше 2 миллионов тонн использованных пластиковых материалов. Они представляют собой химическое сырье, которое возможно применить повторно. Полупродукт из бутылок применяется в различных технических областях: – он добавляется к основному материалу при производстве вторичных PET-изделий; – через процесс компаундирования вторичный PET смешивается с другими типами пластика, например поликарбонатом, и укрепляется волокнами для создания технических деталей; –используется в производстве красителей для изделий из пластика.

Помимо этого очищенные отходы PET используются для создания разнообразного вида изделий:

– текстильных волокон;

– наполнителей и штапельных волокон, например, синтепон, который служит утеплителем для зимней одежды и спальных мешков;

– материалов для кровли;

– пленок и листов, включая окрашенные и металлизированные;

– упаковочных материалов, таких как коробки для яиц и фруктов, упаковка для игрушек, спортивных товаров и прочего;

– изделий литьевого назначения для автомобильной промышленности; компонентов для осветительных и бытовых приборов и других товаров [1].

Другая перспективная область применения PET-пластика – экономия ресурсов на закупку материала для 3D-печати. Переработка доступна в домашних условиях и может стать неотъемлемой частью трехмерной печати у любителей и профессионалов в области аддитивных технологий.

Также эту технологию можно применять в области образования. Установка этого аппарата в образовательных учреждениях, таких как школы, ВУЗы или кружки по робототехнике и обучение учащихся переработке пластика, позволит каждому члену общества вносить свой вклад в очищение планеты. При этом люди смогут практически бесплатно самостоятельно изготавливать запчасти к различным техническим устройствам, детали и элементы декора.

Следует обратить внимание на ряд особенностей, связанных с данной технологией. Экспериментальным путем определена температура плавления переработанного PET-пластика. Минимальная температура, при которой PET-пластик начинает плавится, составила 270 °С. Основные материалы, применяемые в аддитивных технологиях трехмерной печати: ABS, PLA, PETG [2]. Сравнение температур плавления, необходимых для 3D-печати этими пластиками [3] с температурой переработанного PET-пластика, приведено в таблице 1.

Температура плавления материалов 3D-печати Таблица 1

№	Материал	Температура плавления, °С
1	ABS-пластик	230-260
2	PLA-пластик	190-230
3	PETG-пластик	220-245
4	Переработанный PET-пластик	270-300

В 3D-печати применяются пластмассы, температура размягчения которых не превышает 260 °С Исходя из таблицы 1, минимальная температура плавления филамента из PET-пластика составляет 270 °С. Для многих 3D-принтеров такая температура является предельной. Поэтому для работы с таким филаментом необходимо модифицировать 3D-принтер.

Экспериментально было выявлено, что печать PET-пластиком требует использования длинного сопла, которое используется в экструдере Volcano. Это сопло увеличенной длины, применяемое для быстрой печати. Его преимущество заключается в более длинном пути пластика [4]. Переработанный пластик успевает прогреваться и выходит из сопла расплавленным. Кроме того, стандартной мощности нагревательного элемента – 40 Вт, недостаточно, чтобы расплавлять PET-пластик. Мощность была увеличена до 80 Вт путем параллельного подключения второго нагревательного элемента.

При печати используется сопло диаметром 0,9 мм, скорость печати - 40 мм/с. Деталь, напечатанная модифицированным способом представлена на рисунке 1.

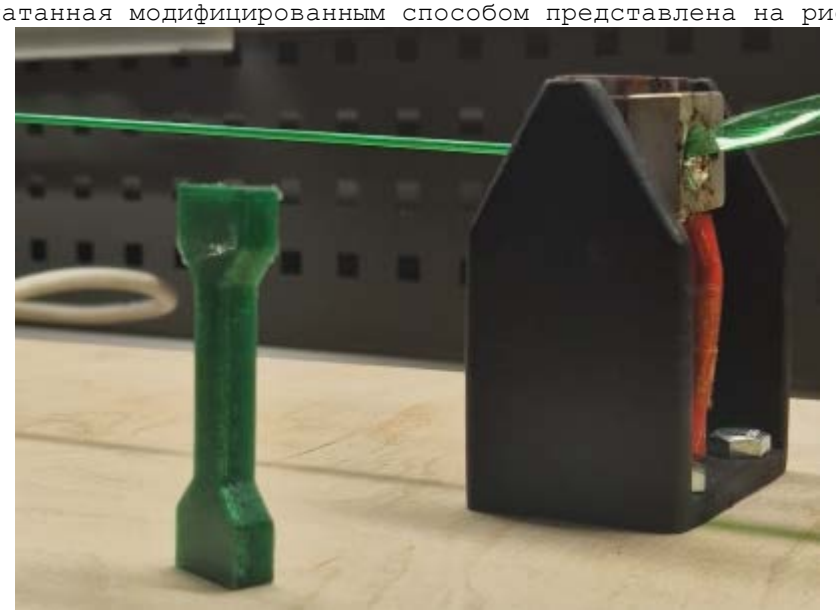


Рисунок 1 – Образец, напечатанный из PET-пластика

Качество модифицированной печати не отличается от качества печати стандартными материалами. Показатели шероховатости поверхности детали приемлемое, хорошо поддается обработке.

Материал, получаемый из переработанного пластика, испытан в области 3D-печати. Несмотря на то, что ответственные детали печатать из PET-пластика без сертификации их свойств не рекомендуется, предлагается изготавливать из него детали для второстепенного технического оборудования.

Эта инновация будет способствовать значительному экологическому прогрессу, учитывая, что пластик составляет половину домашних отходов, и значительная его доля может быть переработана повторно. Внедрение этого метода уменьшит расходы на материалы, необходимые для 3D-печати, что в свою очередь увеличит применимость 3D-принтеров для выполнения разнообразных технических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клинков А.С. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов // А.С. Клинков, П.С. Беляев, В.К. Скуратов, М.В. Соколов, В.Г. Однолько – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. – 2010. – 100 с.

2. Жуков А.В., Никифоров А.А., Яковишин А.С. Пластмассы для аддитивных технологий (обзор) // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2021, №4. С. 57-70

3. Официальный сайт производителя филамента для 3D-печати «BESTFILAMENT» https://bestfilament.ru/category/plastik-Bestfilament/

4. Официальный сайт компании E3D https://e3d-online.com/products/volcano-hotend

УДК 621.372

Новомейский[1] Д.Н., Пиганов[2] М.Н., Лупцов[3] А.А.

[1,2,3] Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, Самара, Россия

[1] kipres@ssau.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

Аннотация. Приведена схема делителя мощности. Разработана топология делителя. Приведены результаты моделирования и исследования частотных характеристик коэффициента стоячей волны по напряжению, ослабления, развязки по входу и выходу. Предложена методика изменения сопротивлений резисторов путём подгонки методом факельного разряда.

Ключевые слова: делитель, мощность, схема, топология, частотные характеристики, подгонка сопротивлений

Novomeisky[1] D.N., Piganov[2] M.N., Luptsov[3] A.A.

[1,2,3] Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev, Samara, Russia

[1] kipres@ssau.ru

INVESTIGATION OF THE MICROWAVE POWER DIVIDER

Annotation. A power divider circuit is carried out. The topology of the divider has been developed. The results of modeling and investigation of the frequency characteristics of the standing wave coefficient in terms of voltage, attenuation, input and output decoupling are presented. A technique for measuring resistors by fitting by the flare discharge method is proposed.

Keywords: divider, power, circuit, topology, frequency characteristics, resistance fitting

Введение

При разработке бортовой радиоэлектронной аппаратуры широко используются СВЧ приборы и узлы. К числу таких узлов относятся и пассивные делители мощности. Они предназначены для распределения в требуемом соотношении мощности источника СВЧ-колебаний на несколько каналов [1]. Различают тройники, направленные ответвители, мостовые устройства, многоканальные делители мощности. Их свойства и характеристики (параметры) можно описать с помощью матриц рассеяния [2]. Широко распространены многоканальные делители. Их выполняют по последовательной, параллельной или последовательно-параллельной схемам. Характеристики многоканальных делителей обычно определяют по известным характеристикам элементарных делителей путём объединения их в общую схему. Методика расчёта таких делителей описана в [3].

В работе [4] предложена конструкция делителя мощности восьмиантенной решётки для радиолокационного комплекса. Этот делитель в совокупности с другими устройствами (фильтры, усилители, поглотители и др.) предназначен для формирования необходимой диаграммы направленности. Он реализован по объёмно-интегральной технологии. По структурному наполнению это устройство можно дифференцировать на комплекс направленных ответвителей и фазовращателей, расположенных в разных слоях конструкции. Коммутация между слоями осуществляется при помощи специальных переходных отверстий, адаптированных под СВЧ радиодиапазона. Автор отказался от традиционной плоскостной концепции [5, 6], что позволило избавиться от массогабаритной избыточности, улучшить ремонтопригодность и экономические показатели. Такой подход позволил уменьшить массу до 2кг, габариты – до 15×8×3 см при уровне КСВН не более 1,3. Авторами [7, 8] предложен компактный СВЧ делитель мощности с развязкой между входами для бортовой командно-измерительной системы космического аппарата.

Целью данной работы является моделирование и исследование частотных характеристик основных параметров тонкоплёночного делителя мощности для бортовой аппаратуры.

Схема и топология делителя

Схема делителя мощности 1:4 приведена на рис. 1. На рис. 2 представлена топология устройства.

Моделирование и исследование характеристик делителя

Моделирование и исследование проводилось с помощью ПО ARW Design. Результаты моделирования и исследования приведены на рис. 3-9.

Заключение

Рассмотрен многоканальный СВЧ делитель мощности. Результаты моделирования и исследования показатели, что указанный делитель может быть использован в бортовой радиоэлектронной аппаратуре. Предложенное устройство обеспечивает развязку между выходными и входными каналами не менее 40 дБ. КСВН каждого плеча в полосе рабочих частот не превышает 1,25.

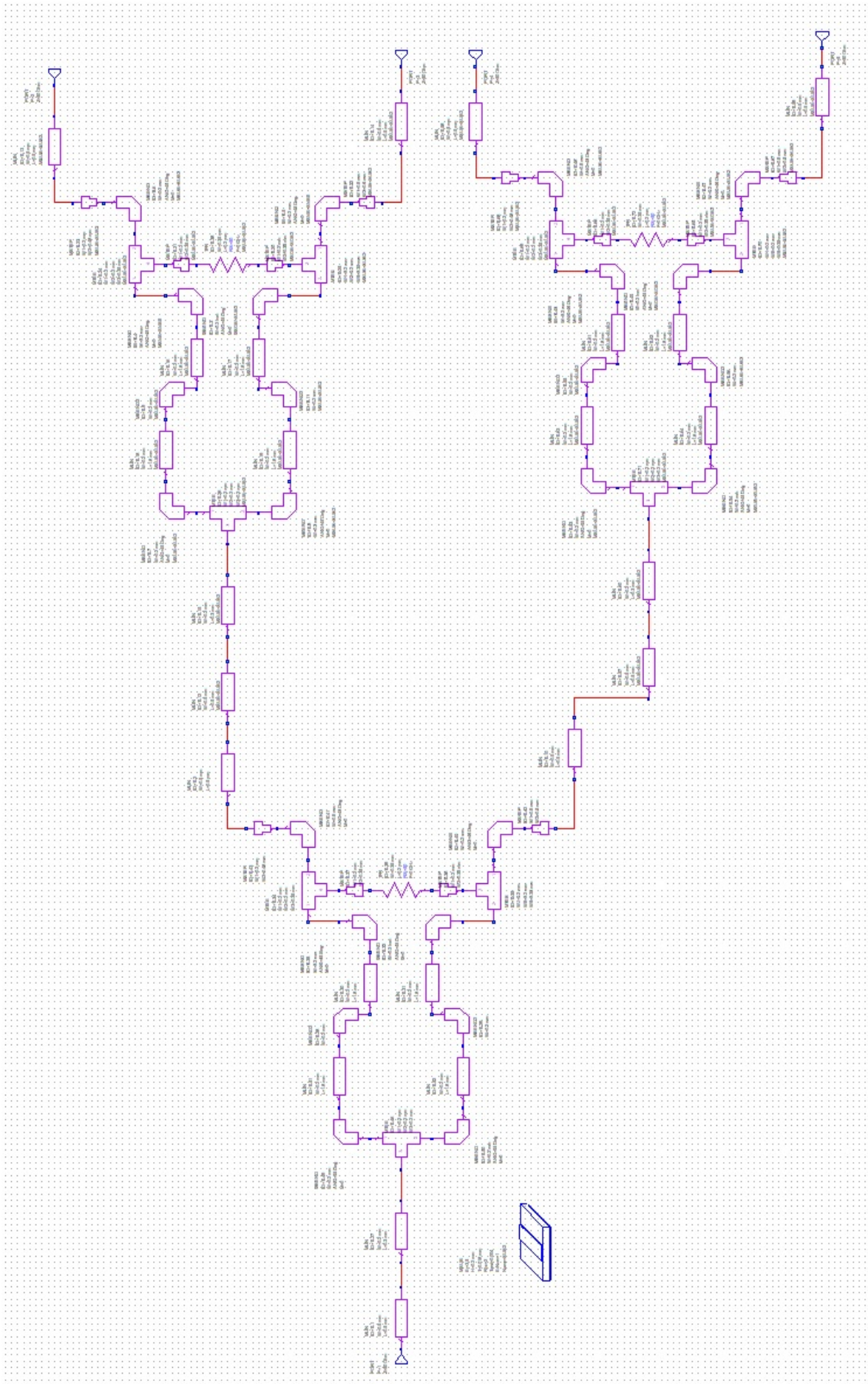


Рисунок 1 - Схема делителя

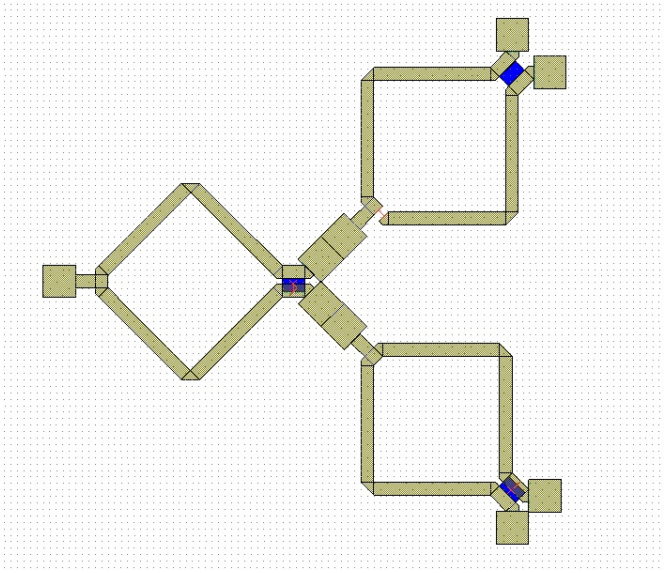


Рисунок 2 – Топология делителя

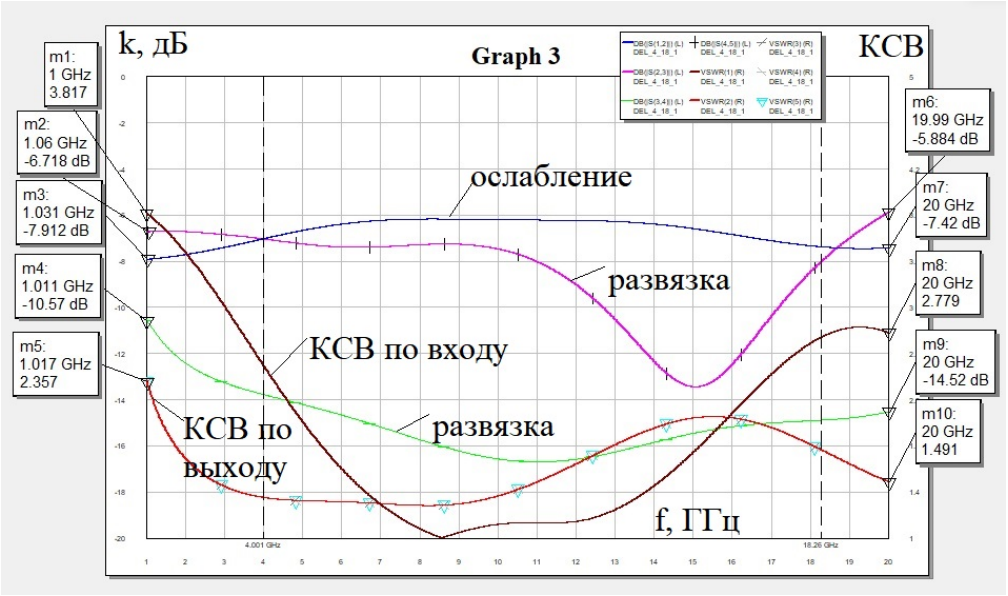


Рисунок 3 – Зависимости ослабления и КСВ при сопротивлениях резисторов, равных 50 Ом

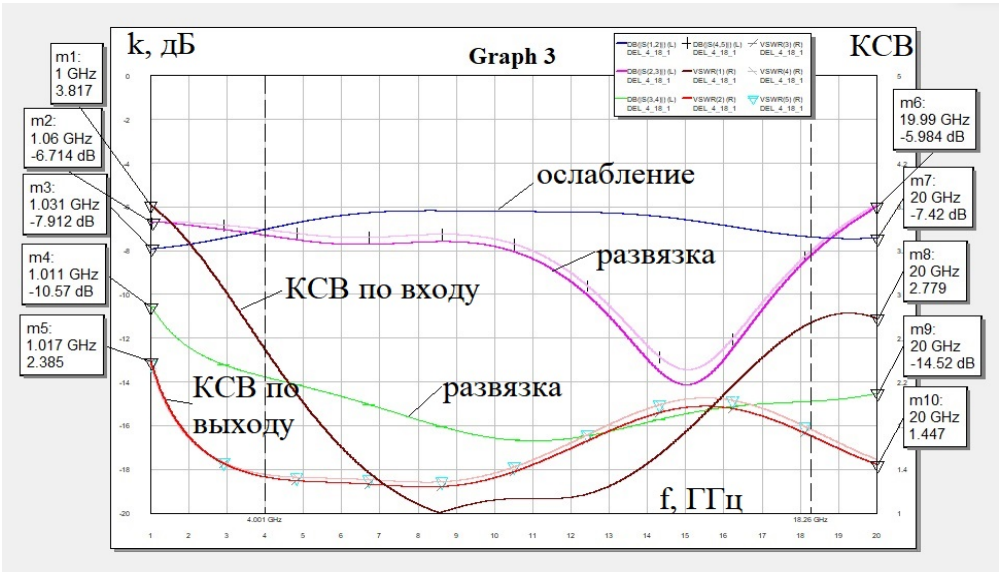


Рисунок 4 – Ослабление и КСВ при сопротивлении R1, равном 55 Ом

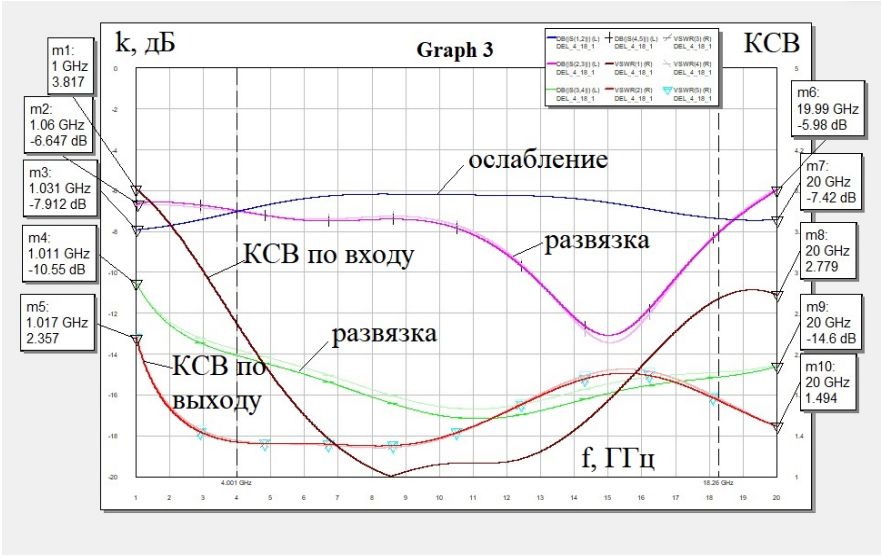


Рисунок 5 – Ослабление и КСВ при сопротивлении R2, равном 55 Ом

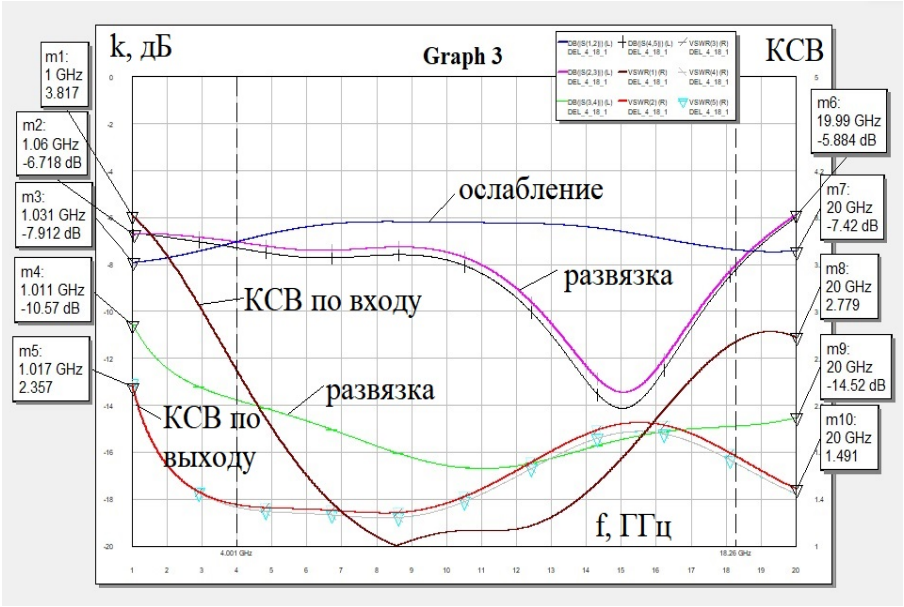


Рисунок 6 – Ослабление и КСВ при сопротивлении R3, равном 55 Ом

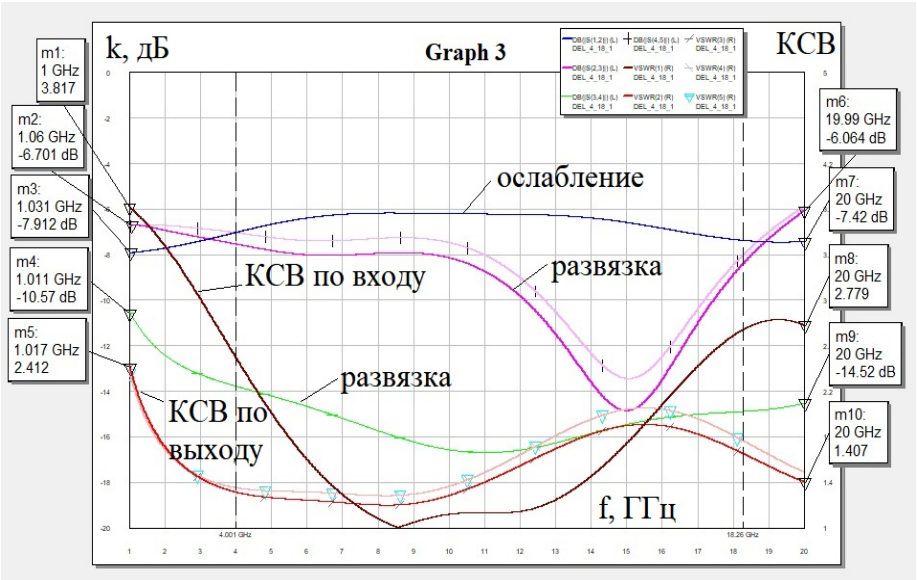


Рисунок 7 – Ослабление и КСВ при сопротивлении R1, равном 60 Ом

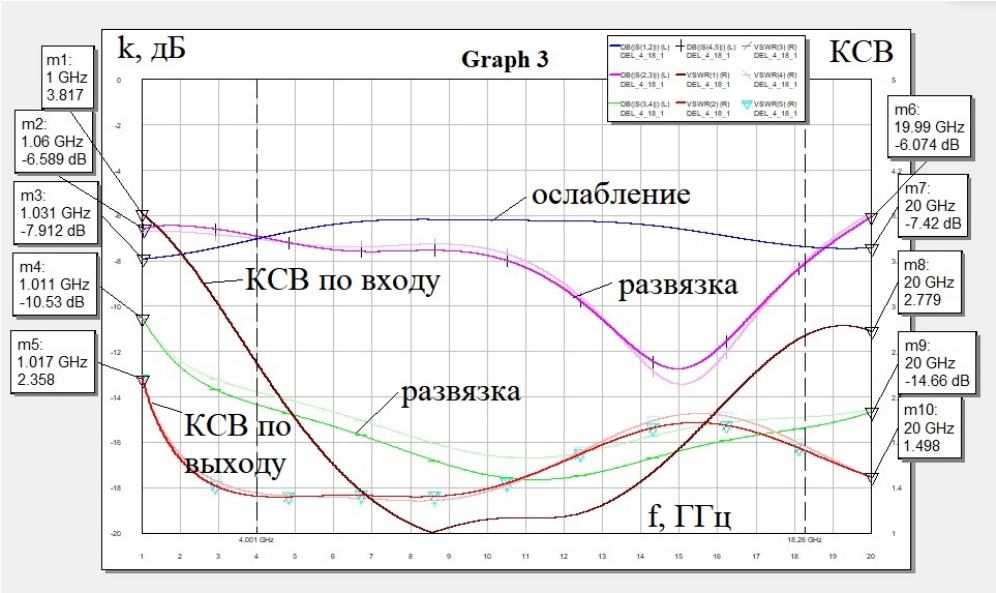


Рисунок 8 – Ослабление и КСВ при сопротивлении R2, равном 60 Ом

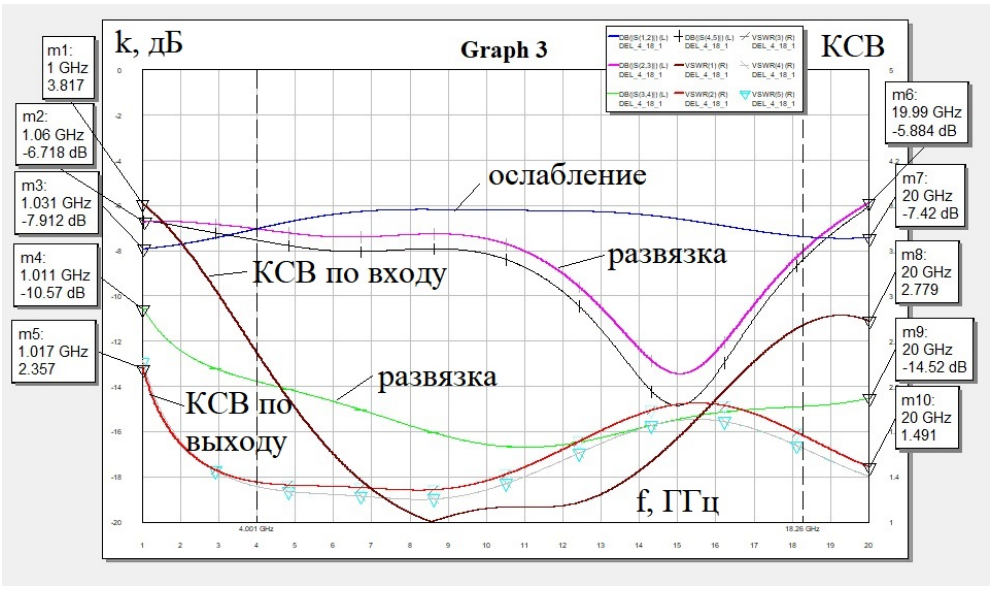


Рисунок 9 – Ослабление и КСВ при сопротивлении R3, равном 60 Ом

Для подтверждения эксплуатационных характеристик и других показателей качества делителей мощности необходимо провести их испытания в производственных условиях по методике [9, 10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирсанов Ю.А. и др. «Делитель СВЧ мощности». Патент Р.Ф. №1145873, кл.Н 01 Р 1/38, 1993.
2. Основы теории устройств СВЧ. Максимов В.М. Сайнс-Пресс, 2002. 80 с.
3. Н.Т. Бова Микроэлектронные устройства СВЧ (К.: Техника, 1984).
4. Дударев Н.В., Дударев А.В. Объёмно-интегральный СВЧ делитель мощности // Международный научный журнал «Инновационная наука», 2016. №12-2. С. 51-53.
5. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств: справочник / С. И. Бахарев, В. И. Вольман, Ю. Н. Либ; под ред. В.И. Вольмана. - М.: Радио и связь, 1982. 328 с.
6. Малорацкий, Л. Г. Микроминиатюризация элементов и устройств СВЧ / Л. Г. Малорацкий. - М.: Сов. Радио, 1976. 216 с.
7. Алыбин В.Г., Зарапин С.А., Яхутин С.А. Авраменко С.В. Компактный СВЧ делитель мощности с развязкой между входами // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2018. Том 5. Выпуск 2. С. 34-39.
8. Алыбин В. Г., Зарапин С. А., Яхутин С. А., Авраменко С. В. Делитель мощности для бортовой аппаратуры космического аппарата, патент РФ № 2608978, гос. рег. 2017.
9. Быков А.П., Андросов С.В., Пиганов М.Н. Методика тепловакуумных испытаний приборов космического аппарата // Надёжность и качество сложных систем. 2019. №3 (27). С. 78-83.
10. Лысенко А.В., Таньков Г.В., Калашников В.С. Алгоритм реализации адаптивной системы вибрационных испытаний бортовой радиоэлектронной аппаратуры // Надежность и качество сложных систем. 2019. №3(27). С. 131-147.

УДК 621.382

Радаев[1] О.А., Фролов[2] И.В., Зайцев[3] С.А., Сергеев[4] В.А.

[1,2,4] Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им.В. А. Котельникова Российской академии наук, Ульяновск, Россия

[2,4] Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

[3] Ульяновское конструкторское бюро приборостроения, Ульяновск, Россия

[1] oleg.radaev.91@mail.ru

[2] ilya-frolov88@mail.ru

ИЗМЕРЕНИЕ ПОРОГОВОГО ТОКА КРИСТАЛЛОВ СВЕТОДИОДНЫХ МАТРИЦ

Аннотация. Представлена методика измерения порогового тока кристаллов светодиодной матрицы. Показано, что распределение по пороговому току кристаллов исследованных матриц существенно неравномерное. При испытаниях матриц под действием тока значения порогового тока изменяются, а коэффициент корреляции между величиной спада светового потока матриц при испытаниях и изменением среднего значения порогового тока составляет 0,96. Пороговый ток может использоваться для диагностики дефектности отдельных кристаллов матрицы.

Ключевые слова: светодиодная матрица, пороговый ток, измерение

Radaev[1] O.A., Frolov[2] I.V., Zaitsev[3] S.A., Sergeev[4] V.A.

[1,2,4] Ulyanovsk Branch of the V. A. Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk, Russia

[2,4] Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

[3] Ulyanovsk Instrument Engineering Design Bureau, Ulyanovsk, Russia

[1] oleg.radaev.91@mail.ru

[2] ilya-frolov88@mail.ru

MEASUREMENT OF THE THRESHOLD CURRENT OF LED MATRIX CRYSTALS

Annotation. A technique for measuring the threshold current of LED matrix crystals is presented. It is shown that the distribution over the threshold current of the crystals of the studied matrices is significantly uneven. When testing matrices under the influence of current, the values of the threshold current change, and the correlation coefficient between the magnitude of the decrease in the luminous flux of the matrices during testing and the change in the average value of the threshold current is 0.96. The threshold current can be used to diagnose defects in individual matrix crystals.

Keywords: LED matrix, threshold current, measurement

Введение

В настоящее время в устройствах освещения широко используются светодиодные матрицы. Светодиодная матрица совокупность нескольких кристаллов, расположенных на минимальном локализованном расстоянии между собой и заключенных в один корпус, имеющие общую первичную оптику, единый слой люминофора. Светодиодные кристаллы (чипы) монтируют на плату из материалов с высокой теплопроводностью на металлической основе. Количество кристаллов в составе матриц может составлять от единиц до нескольких десятков. Мощность светодиодных матриц может достигать 200 Вт и более. Они характеризуются большой светоизлучающей поверхностью, создающей однородный световой поток высокой плотности [1, 2]. Главное преимущество светодиодных матриц перед обычным светодиодом - это больший световой поток, который в разы (практически кратно количеству примененных кристаллов) выше. Однако есть светодиодные матрицы, световой поток которых сопоставим с наиболее яркими единичными светодиодами. В данных обстоятельствах определяющим в применении светодиодных матриц или светодиодов определяют другие технические различия данных элементов.

Применение светодиодных матриц позволяет во многих случаях значительно снизить массогабаритные характеристики создаваемого светотехнического оборудования, от которого требуется излучение мощного светового потока.

Разработка способов контроля качества светодиодных матриц является актуальной задачей, решение которой позволит найти повысить ресурс светотехнического оборудования в условиях применения внешних воздействующих факторов [3].

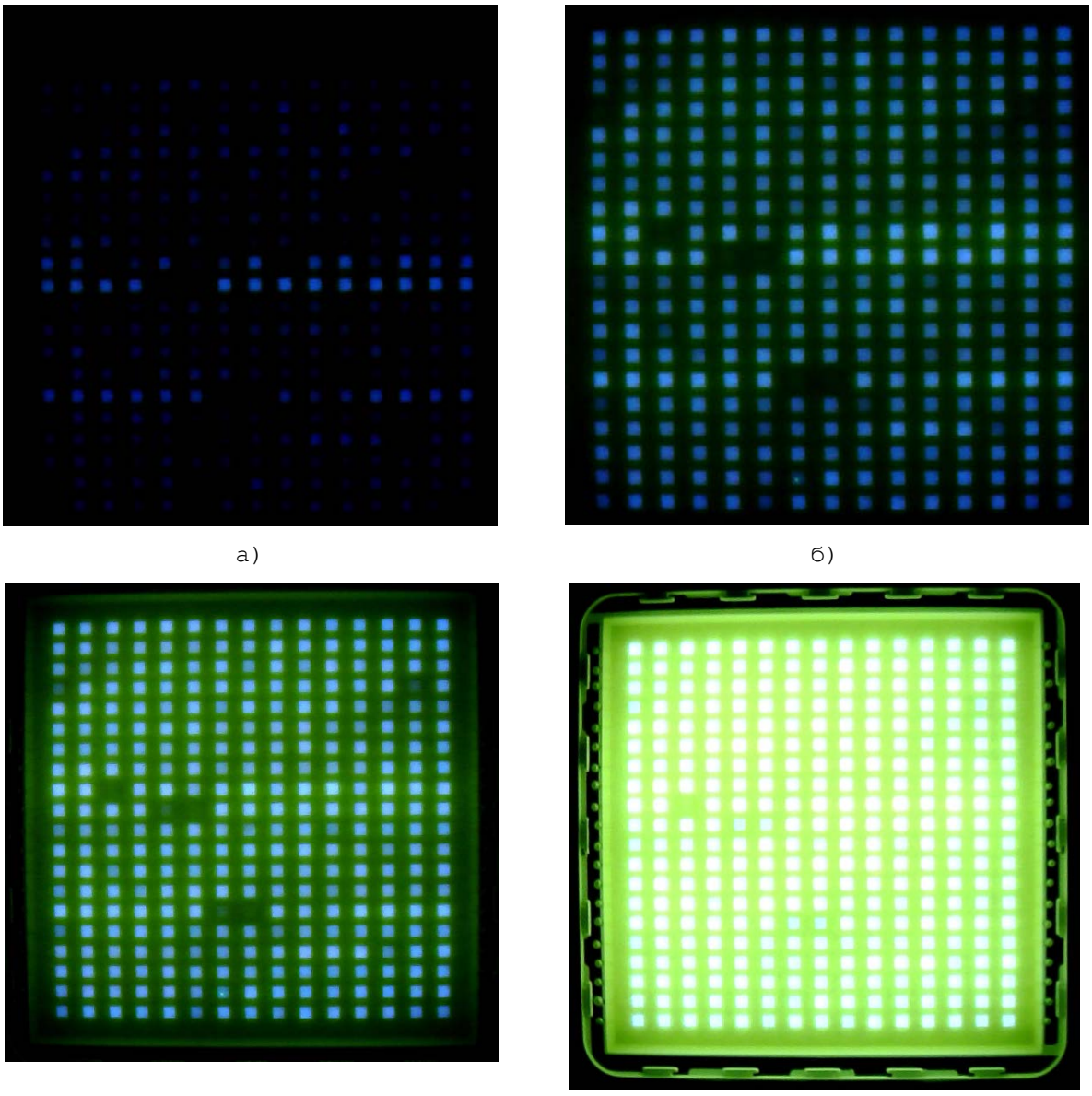
На примере светодиодов в работе [4] показано, что параметром, чувствительным к электрофизическим дефектам светодиодной гетероструктуры, является пороговый ток - минимальный ток, при котором возникает излучение структуры. Значения порогового тока коррелируют со значениями тока, при котором наблюдается максимум токовой зависимости внешней квантовой эффективности светодиода, а при испытаниях в режиме постоянного тока светодиоды с большими значениями порогового тока деградируют быстрее, чем светодиоды с малыми значениями порогового тока [5].

Методика измерения порогового тока кристаллов светодиодной матрицы

Измерения пороговых токов Ith кристаллов светодиодных матриц проводились при комнатной температуре на аппаратно-программном комплексе, состоящем из микроскопа Levenhuk D320L, монохромной цифровой КМОП камеры FL-20BW, компьютера,

лабораторного источника питания, прецизионного мультиметра Tektronix DMM4040, используемого в качестве амперметра. Спектральный диапазон чувствительности камеры FL-20BW составляет 300 – 1100 нм, максимум чувствительности достигается на длине волны излучения 495 нм.

На рис. 1 представлены фотографии мощной светодиодной матрицы ARPL-300W-BCB-7080-PW, полученные при питании матрицы малыми токам 15 мкА, 25 мкА, 40 мкА и 90 мкА. Светодиодная матрица представляет собой сборку из 300 кристаллов – 20-и параллельно соединенных светодиодных рядов, каждый из которых содержит 15 кристаллов соединенных последовательно. Излучающие светодиодные кристаллы DS-C15 фирмы BRIDGELUX размером $l_x \times l_y \times l_z$ = 1143×1143×150 мкм с эпитаксиальной гетероструктурой InGaN/GaN на сапфировой подложке, присоединены с помощью адгезива толщиной δ_A = 20 мкм к алюминиевой плате размером $L_x \times L_y \times L_z$ = 47×47×2 мм.



а) б)

в) г)

Рисунок 1 - Фотографии матрицы при токе 15 мкА (а), 25 мкА (б), 40 мкА (в) и 90 мкА (г)

Из рис. 1 видно, что свечение кристаллов возникает при разных токах. При токе 15 мкА распределение интенсивности свечения по матрице существенно неравномерное, при токе 90 мкА распределение становится практически однородным.

Для определения порогового тока кристаллов матриц через матрицу поочередно пропускаются постоянные токи и регистрируются ее изображения. Монохромные изображения в формате .tiff с разрешением 5472×3648 пикселей и разрядностью 16 бит, полученные камерой, сохраняются в памяти компьютера. Затем на изображениях выделяются j-е области (j = 1…10), соответствующие кристаллам матрицы, в пределах каждой области изображения рассчитываются средние значения яркости пикселей, затем рассчитываются средние значения интенсивности излучения j-го кристалла

матрицы (в относительных единицах). Значение порогового тока кристаллов определяется путем аппроксимации результатов измерений ватт-амперных характеристик кристаллов. В работе [6] отмечается, что в общем случае ватт-амперная характеристика может быть аппроксимирована функцией вида $P(I) = P_0 \cdot (I/I_0)^b$. Для идеального светодиода показатель степени a равен 1. У реального светодиода значение показателя степени зависит от тока.

Для нахождения порогового тока в функцию было добавлено I_{th}:

$$P_{power}(I) = a(|I - I_{th}|)^b. \quad (1)$$

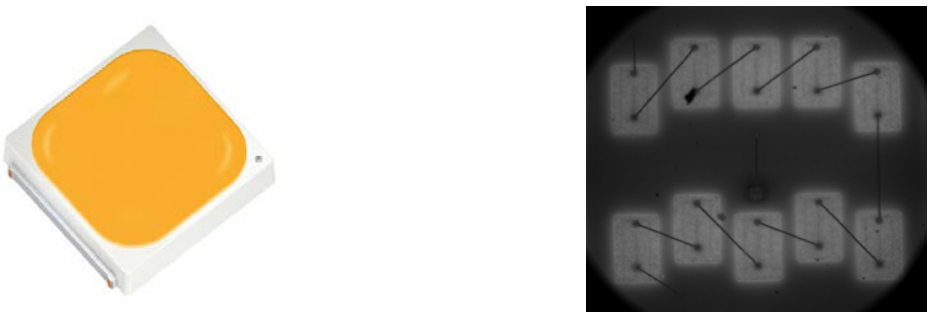
В [7] показано, что ватт-амперная характеристика светодиода при малых токах, соответствующих диапазону роста внешней квантовой эффективности, может быть аппроксимирована функцией вида

$$P_{ABC}(I) = \frac{m}{2}\left(\sqrt{1 + 2q(I - I_{th})} - 1\right)^2. \quad (2)$$

где параметры m и q определяются рекомбинационными параметрами гетероструктуры светодиода.

Результаты измерений порогового тока кристаллов матриц.

В качестве объекта исследований использовались светодиодные матрицы типа GW P9LT31.EM DURIS S 8 Osram. Матрицы этого типа состоят из десяти последовательно соединенных кристаллов (рис. 2). Рабочее напряжение составляет 32 В, максимально допустимый постоянный ток – 200 мА.



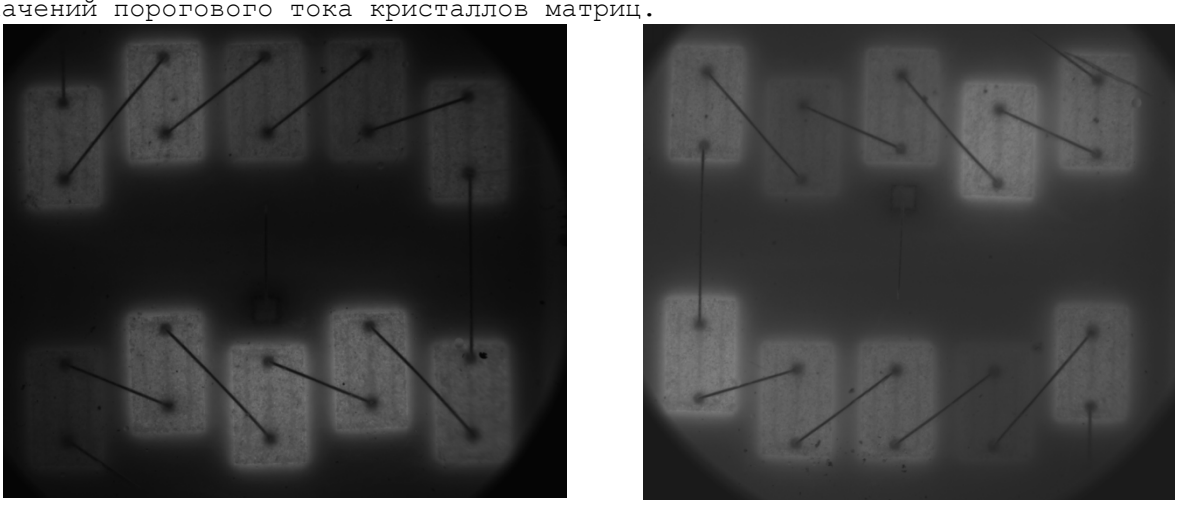
а) б)

Рисунок 2 - Внешний вид (а) и структура (б) светодиодных матриц GW P9LT31.EM DURIS S 8

Пороговый ток кристаллов матрицы I_{th_j} определялся на основании функции (2).

На рис. 3 приведены изображения двух матриц, полученные при токе 70 нА.

Результаты измерений пороговых токов кристаллов матриц показали, что их значения существенно различаются и принимают значения от 12 до 73 нА. Среднее квадратическое значение пороговых токов кристаллов в пределах матрицы, нормированное на среднее значение, находится в пределах от 2,6 % до 39,5 % для исследованных образцов, что указывает на существенно неоднородное распределение значений порогового тока кристаллов матриц.



а) б)

Рисунок 3 - Изображения двух матриц при токе 70 нА

В работе [8] показано, что в результате проведенных испытаний матриц под действием тока 140 мА при максимально допустимой температуре окружающей среды 110 °С в течение 11 суток изменения средних значений пороговых токов при испытаниях коррелируют с изменениями вольт-амперных характеристик матриц,

измеренных в диапазоне напряжений от 17 до 24 В, при которых доминирует ток утечки. Коэффициент корреляции между относительными изменениями тока утечки и средних значений пороговых токов составляет 0,94. Показано, что коэффициент корреляции между величиной спада светового потока матриц при испытаниях и изменением среднего значения порогового тока составляет 0,96. Установленные сильные корреляционные связи показывают возможность диагностики качества по пороговому току отдельных кристаллов в составе светодиодных СОВ матриц.

Заключение

Показано, что при малых токах распределение значений порогового тока по кристаллам светодиодных матриц существенно неоднородное и варьируется от 2,6 % до 39,5 % для исследованных образцов матриц. При испытаниях матриц под действием тока значения порогового тока изменяются, и коэффициент корреляции между величиной спада светового потока матриц при испытаниях и изменением среднего значения порогового тока составляет 0,96. Пороговый ток может использоваться для диагностики дефектности отдельных кристаллов матрицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградова К. Передовые светодиодные продукты от Samsung Electronics: мощные светодиодные сборки chip-on-board серий B, C и D // Полупроводниковая светотехника. - 2016. - №6. - С.28-34.

2. Феопёнтов А. Модули Chip-On-Board. Часть 1. Технология, конструкция, применение // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – №2. – С. 26– 28.

3. Фролов И. В. Исследование изменений характеристик бортового светодиодного светильника при термоциклировании и токовых испытаниях / И. В. Фролов, В. А. Сергеев, А. М. Ходаков, С. А. Зайцев // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» (г. Пенза, 24-31 мая 2021 г.). – Пенза: ПГУ, 2020. – Т. 2. – С. 158–161.

4. Сергеев В. А., Фролов И. В., Радаев О. А. Исследование связи степени дефектности светоизлучающих наногетероструктур зеленых InGaN/GaN-светодиодов с величиной порогового тока // Письма в журнал технической физики. – 2017. – Т. 43. – №. 4. – С. 89-93.

5. Фролов И. В., Радаев О. А., Сергеев В. А. Исследование изменений пороговых и граничных параметров электролюминесценции светодиодов при испытаниях под действием тока // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» (г. Пенза, 23-31 мая 2022 г.). – Пенза: ПГУ, 2022. – Т. 2. – С. 55–57.

6. Meyaard D.S., Lin G.-B., Cho J., Schubert E.F. Efficiency droop in gallium indium nitride (GaInN)/gallium nitride (GaN) LEDs // Nitride Semiconductor Light-Emitting Diodes (LEDs): Materials, Technologies and Applications. – 2014. – P. 279–300.

7. Фролов И.В., Сергеев В.А. Диагностический контроль качества светодиодов по локальным параметрам электролюминесценции и фототока. Монография. М.: СОЛОН-Пресс, 2023. 160 с.

8. Сергеев В.А., Фролов И.В., Зайцев С.А, Радаев О.А. Контроль качества светодиодных COB матриц по пороговому току // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. – 2023. – №11.

УДК 681.3:62-52

Рябова[1] С.В., Сергеев[2] В.А., Фролов[3] И.В.

[1,3] Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук, Ульяновск, Россия

[2,3] Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

[1] 73rf@mail.ru

[2] sva@ulstu.ru

СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ О ПАРАМЕТРАХ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Аннотация. Представлен краткий обзор структурных схем автоматизированных систем управления технологическим процессом. Показано, что принцип работы большинства существующих автоматизированных систем управления технологическим процессом состоит в определении, путем мониторинга технологического процесса, отклонений параметров технологического процесса от номинальных значений и в выработке управляющих воздействий на технологическое оборудование и/или оснастку и режимы технологического процесса, на основе этих отклонений. При этом существующие автоматизированные системы управления технологическим процессом не учитывают связей между параметрами технологического процесса и параметрами качества готовой продукции и, соответственно, не позволяют локализовать источник отклонений параметров качества продукции. Предложена структура автоматизированной системы управления технологическим процессом, включающая подсистему определения регрессионной связи параметров технологического процесса с параметрами качества продукции. Рассмотрен вариант формирования управляющих воздействий в автоматизированных системах управления технологическим процессом при учете параметров качества продукции в виде коррекции номинальных параметров технологического процесса по результатам расчета коэффициентов регрессионной функции.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления технологическим процессом, параметры технологического процесса, параметры качества продукции, регрессионная связь, программно-аппаратный комплекс

Ryabova[1] S.V., Sergeev[2] V.A., Frolov[3] I.V.

[1,3] Ulyanovsky Branch of the V. A. Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk, Russia

[2] Ulyanovsky State Technical University, Ulyanovsk, Russia

[1] 73rf@mail.ru

[2] sva@ulstu.ru

THE STRUCTURE OF AN AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM USING INFORMATION ABOUT PRODUCT QUALITY PARAMETERS

Annotation. A brief overview of the structural schemes of automated process control systems (APCS) is presented. It is shown that the principle of operation of most existing APCS consists in determining, by monitoring the technological process (TP), deviations of TP parameters from nominal values and in developing control actions on technological equipment based on these deviations. At the same time, the existing APCS do not take into account the links between the parameters of the TP and the quality parameters of the finished product and, accordingly, do not allow to localize the source of deviations in product quality parameters. The structure of the automated process control system is proposed, which includes a subsystem for determining the regression relationship of TP parameters with product quality parameters. A variant of the formation of control actions in the automated process control system is considered when taking into account product quality parameters in the form of correction of nominal parameters of the control system based on the results of calculating the coefficients of the regression function.

Keywords: automated process control systems, process parameters, product quality parameters, regression relationship, hardware and software complex

Введение. Менее года назад на уровне Правительства Российской Федерации принято решение о развитии отечественной платформы автоматизированных систем управления технологическим процессами (АСУ ТП) [1]. В связи с этим актуальным является анализ и определение оптимальной структуры АСУ ТП, обеспечивающей, как эффективность управления производственными и ТП, так и качество выпускаемой продукции.

Традиционная структура АСУ ТП включает три уровня: нижний (полевой) – контрольно-измерительные приборы и исполнительные механизмы; средний – контроллеры и устройства связи; верхний – серверы и операторские станции [2].

Полевой уровень АСУ ТП обеспечивает сбор данных о состояния технологического оборудования и/или оснастки и режимов ТП, реализует управляющие воздействия. Техническими средствами этого уровня являются датчики и преобразователи различных физических величин; выключатели, пускатели; исполнительные устройства. **На среднем уровне** АСУ ТП с помощью программируемых логических контроллеров (ПЛК) решаются задачи управления и регулирования. ПЛК обрабатывает информацию датчиков по заданному алгоритму и передает сигналы управления на исполнительные механизмы. **На верхнем уровне** оператор в составе полуавтоматического диспетчерского узла контролирует процесс и при необходимости корректирует программы и алгоритмы работы ПЛК. Функционирование типовых АСУ ТП основано на идеальном предположении, что при поддержании номинальных параметров режимов ТП и технологического оборудования качество продукции будет обеспечено [2].

Одной из основных задач повышения эффективности производства и обеспечения качества продукции является непрерывный мониторинг состояния технологического оборудования (включая контрольно-измерительное оборудование) и критически важных параметров, определяющих

качество (процент выхода годных) продукции с целью опережающего **предсказания** и выявления опасных отклонений указанных параметров и своевременной (оптимальной) их корректировки. В отличие от типовых АСУ ТП, современные ориентированные на поддержание качества продукции, системы должны обладать «предсказательной» способностью, позволяющей проводить предупредительную, заблаговременную корректировку режимов работы технологического оборудования и/или оснастки и режимов ТП. Указанные особенности и отличия определяются применением принципов адаптивного управления и элементов искусственного интеллекта.

ГЕНЕЗИС СТРУКТУРЫ АСУ ТП

При традиционно сложившемся в промышленности подходе к контролю качества (рисунок 1) основной акцент делается на контроль готового продукта, что не позволяет оперативно управлять ТП и минимизировать непроизводительные затраты (затраты, связанные с исправлением, повторными контрольными, диагностическими и испытательными операциями, наличием отходов производства и т. д.) [3]. При таком подходе процессами не управляют, а только фиксируют полученные результаты.



Рисунок 1 - Структура системы управления качеством без АСУ ТП

При более современном подходе к контролю качества (рисунок 2) обеспечивается и контроль готового продукта, и контроль параметров производственных и ТП, но независимо друг от друга, что так же не позволяет оперативно снижать непроизводительные затраты [3]. При таком подходе процессами управляют, но без привязки полученных результатов к качеству готовой продукции.



Рисунок 2 - Структура системы управления качеством с АСУ ТП

Предлагаемый подход применения АСУ ТП с использованием статистических методов управления качеством продукции (рисунок 3) предполагает внедрение постоянного мониторинга параметров сырья и материалов, технологического оборудования и/или оснастки, режимов ТП и качества готовой продукции, их анализа и автоматической разработкой оптимальных решений с целью оперативного управления ходом выполнения процессов.

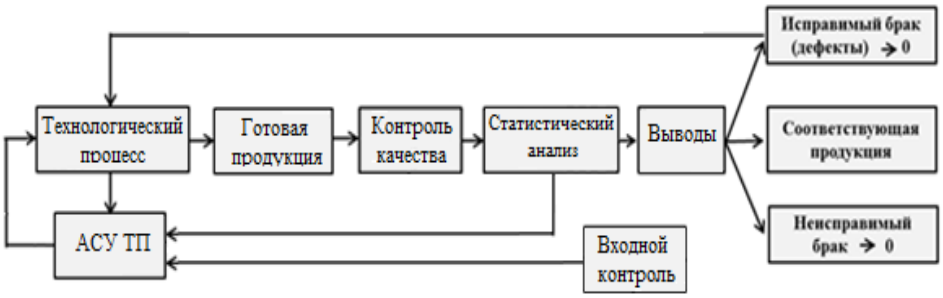


Рисунок 3 - Структура системы управления ТП с использованием информации о параметрах качества продукции, сырья, материалов и комплектующих

При таком подходе процессами управляют напрямую с привязкой полученных результатов к качеству сырья и материалов и готовой продукции. Такой подход можно назвать превентивным. Применение превентивного подхода приводит к значительному снижению непроизводительных затрат и достижению результатов качества: стабильности параметров продукции; уменьшению исправлений и переделок; снижению числа дефектов; увеличению объема выпускаемой продукции; снижению себестоимости; снижению ошибок персонала; уменьшению отходов; повышению точности настройки оборудования; уменьшению простоев оборудования; эффективному использованию рабочего времени; увеличению удовлетворенности внутренних и внешних потребителей.

Для реализации такого подхода можно предложить следующую структурную схему системы управления ТП, основной функционал которой реализует Программно-аппаратный комплекс (ПАК) управления ТП (рисунок 4).

Программно-аппаратный комплекс (ПАК) в этой системе предназначен для выявления критически значимых отклонений параметров технологического оборудования и/или оснастки и режимов ТП, приводящих к ухудшению качества (повышению процента брака) выпускаемой продукции при изменяющихся параметрах входного сырья, материалов и комплектующих.



Рисунок 4 - Структура управления ТП с использованием информации входного и выходного контроля

По существу в такой структурной схеме осуществляется комплексирование информационных потоков двух систем: АСУ ТП и системы менеджмента качества (СМК) и организуется мультиагентное управление ТП [4].

СОСТАВ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА

В состав предлагаемого ПАК входят четыре подсистемы: подсистема исходных данных; подсистема мониторинга состояния оборудования и ТП; подсистема контроля качества продукции; подсистема обработки данных, формирования и визуализации управленческих решений.

Подсистема исходных данных содержит информацию о параметрах каждой единицы технологического оборудования (включая контрольно-измерительное оборудование), используемого в ТП, и допустимых параметрах режимов их работы, используемых для целей управления. В базу исходных данных включают также сведения о метрологических характеристиках датчиков, регистрирующих режимы работы технологического оборудования и параметры качества продукции.

В подсистему исходных данных включаются также и сведения о контролируемых параметрах производимой продукции и метрологических характеристиках средств их измерения. В эту подсистему необходимо включить также блок информации о параметрах исходных материалов и комплектующих, получаемой по результатам входного контроля или по данным поставщиков. Структура базы исходных данных определяется на стадии проектирования АСУ ТП.

Подсистема мониторинга технологических процессов. Под мониторингом ТП принято понимать процесс сбора данных о ТП и его ресурсном обеспечении для последующего анализа и реализации стратегий управления ТП [5, 6]. Основными задачами мониторинга ТП являются: сбор данных о ТП и его ресурсном обеспечении; анализ собранных данных с целью выявления отклонений параметров ТП; поддержка человеко-машинного интерфейса, обеспечивающего предоставление оператору полученной информации после её сбора и анализа для реализации управленческих решений; реализация выработанных управляющих воздействий. Сбор данных является основным компонентом подсистемы мониторинга ТП. Набор собираемых данных зависит от характера производства и определяется на стадии проектирования АСУ ТП.

Подсистема контроля качества продукции. Современные подсистемы контроля качества продукции в СМК предназначены для регистрации параметров готовых изделий с созданием базы технологических паспортов, и формированием сертификатов качества [7,8]. На всех фазах современного производства осуществляется автоматизированный ввод данных по изделиям на технологических участках с применением электронного сканирования, ручного ввода и передачи информации в другие подсистемы АСУ ТП. Весь «жизненный цикл» изделия, начиная от поступления в производство и заканчивая упаковкой готовой продукции, в современных подсистемах контроля качества регистрируется в электронном технологическом паспорте (ЭТП). К ЭТП привязана информация из АСУ ТП, которая осуществляет управление ТП на каждой фазе. Данные диагностики и параметры качества, характеризующие конкретное изделие, экспортируются в подсистему формирования управляющих воздействий.

При необходимости, по каждому выпущенному изделию можно получить всю исчерпывающую информацию по технологическим операциям, связанным с его изготовлением, и результаты его контроля.

Подсистема обработки данных и формирования управляющих воздействий реализует функцию построения регрессионных моделей на основе данных мониторинга как на этапе отладки ТП, так и в процессе производства. Подсистема включает ***модуль расчета коэффициентов регрессионных функций*** связи параметров $\{X_i\}$ ТП с параметрами $\{Y_k\}$ качества продукции [9-11] и ***модуль формирования управляющих воздействий***.

При отсутствии временного запаздывания и в предположении стационарности ТП регрессионная функция с учетом эффектов влияния второго порядка имеет вид

$$Y_k = a_{k0} + a_{ki}X_i + a_{kij}X_iX_j + \delta Y_k. \qquad (1)$$

В этом выражении δY_k – отклонение параметра качества, обусловленное влиянием не учитываемых факторов таких как погрешности измерения, изменение условий измерения или параметров сырья и др. Поскольку параметры ТП также определяются с погрешностями, обусловленными погрешностями используемых датчиков, то параметры качества продукции будут случайными функциями параметров ТП и коэффициенты регрессионной функции могут быть найдены с некоторой доверительной вероятностью [9] . Для нахождения этих коэффициентов с приемлемой достоверностью необходимо достаточное число отсчетов, превышающее число задаваемых коэффициентов регрессионной функции. Заметим, что в большинстве практических случаев эффектами второго порядка можно пренебречь.

Более реальными являются ТП с временным запаздыванием влияния параметров ТП на параметры качества продукции, и регрессионная функция будет иметь вид

$$Y_k(t) \neq a_{k0} + a_{ki}X_i(t-\tau_{ik}) + a_{kij}X_i(t-\tau_{ik})X_j\big(t-\tau_{jk}\big) + \delta Y_k, \qquad (2)$$

где τ_{ik}– время запаздывания влияния i-го параметра ТП на k-й параметр продукции.

Строго говоря, в этом случае частота отсчетов параметров ТП и параметров продукции должны совпадать или быть кратными. Временные лаги τ между временными рядами X(t) параметров ТП и параметров Y(t) качества продукции определяются путем вычисления функции кросс-корреляции [12], которая на интервале n временных отсчетов рассчитывается как зависимость коэффициента корреляции между рядами X(t) и Y(t + τ) в зависимости от лага τ:

$$r_\tau = \frac{\sum_{t=1}^{n} X_t X_{t+\tau} - \sum_{t=1}^{n-\tau} Y_t \sum_{t=1}^{n-\tau} \frac{X_{t+\tau}}{n-\tau}}{\sqrt{\left[\sum_{t=\tau}^{n-\tau} Y_t^2 - \sum_{t=\tau}^{n-\tau} \frac{Y_t^2}{n-\tau}\right]\left[\sum_{t=\tau+1}^{n} X_t^2 - \sum_{t=\tau+1}^{n} \frac{X_t^2}{n-\tau}\right]}}. \qquad (3)$$

Ряд $r_\tau = r(\tau)$ представляет собой таблично заданную корреляционную функцию, как правило, достаточно быстро «затухающую». Наличие локальных максимумов в функции r(τ) указывает на наличие временного лага, соответствующего максимуму.

В традиционных АСУ ТП управляющие воздействия формируются на основе отклонений текущих значений параметров ТП от их номинальных (на данный момент времени) значений: $\Delta X_i = X_i - X_i^{\text{ном}}$. В модуле формирования управляющих воздействий рассматриваемого ПАК эти воздействия предлагается формировать на основе сравнения номинальных параметров $Y_k^{\text{ном}}$ качества продукции с параметрами, рассчитанными по регрессионной функции при номинальных параметрах $X_i^{\text{ном}}$ ТП, и номинальные значения параметров ТП могут корректироваться по результатам расчета регрессионной функции. Размерная регрессионная функция объективно характеризует качество настройки и наладки ТП. В процессе эксплуатации оборудования и при изменении характеристик исходных материалов и комплектующих неизбежно будут возникать ситуации, когда $Y_k^{ном} \neq a_{k0} + a_{ki}X_i^{ном} + a_{kij}X_i^{ном}X_j^{ном}$ и необходимо принимать корректирующее управляющее воздействие. Поскольку задача многомерная и многозначная, то для принятия решения о коррекции номинальных параметров ТП рекомендуется начинать с коррекции параметра ТП с наибольшим коэффициентом в регрессионной функции, при этом по разным параметрам качества продукции могут корректироваться разные параметры ТП. Оптимизация управляющих воздействий представляет отдельную сложную задачу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Показано, что не менее важной задачей применения АСУ ТП, чем обеспечение стабильной работы технологического оборудования, является поддержание надлежащего качества продукции. Предложено включить в структуру АСУ ТП подсистему учета влияния параметров ТП на качество продукции путем расчета регрессионных функций связывающих параметры качества продукции с параметрами ТП. Коэффициенты этих регрессионных функций позволяют определять параметры ТП, наиболее сильно влияющие на качество продукции и принимать корректирующие управляющие решения. Регрессионные функции позволяют оценивать качество наладки ТП и отклонение реально оптимальных (с точки зрения обеспечения качества продукции) значений параметров ТП от номинальных, на которые настроен ТП. После вычисления коэффициентов регрессионной модели номинальные параметры ТП корректируются по результатам измерения параметров качества продукции. При этом в линейном приближении в первую очередь корректируется параметр ТП, имеющий наибольший (по модулю) коэффициент в регрессионной модели.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Открытая платформа промышленной автоматизации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт: Открытая_платформа_ промышленной_автоматизации?cache=no&ptype=news#ttop [дата обращения 11.04.2024].

2. Структура АСУ ТП. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://ivctl.ru/o-kompanii/blog/struktura-asu-tp/ (дата обращения 10.04.2024)/

3. Рябова С.В. Экономика качества: учебное пособие / С.В. Рябова. - Ульяновск : УлГТУ.- 2021

4. Юрков, Н. К. Мультиагентное управление сложными динамическими системами / Н. К. Юрков, А. В. Бецков, А. М. Самокутяев // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». - 2023. - Т. 1. - С. 6-12.

5. Антонов, С. В. Разработка методов и алгоритмов автоматизированного контроля и диагностирования технологических процессов: дис. канд. техн. наук: 2.3.3 / Антонов С. В. – М., 2022. – 162 с.

6. Игнатьев, С. А., Горбунов В. В., Игнатьев А. А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции: монография. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, – 2009. – 160 с.

7. Рябова С.В., Сергеев В.А. Оптимизация структуры затрат на качество на предприятиях радиоэлектронного комплекса // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». - 2023. Т. 2. С. 308-312.

8. Максимова, Т.Г. Эконометрика: учебно-методическое пособие / Т. Г. Максимова, И. Н. Попова. – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 70 с.

9. Сидняев, Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебник и практикум для вузов / Н. И. Сидняев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 495 с.

10. Многомерный регрессионный анализ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://e.biblio.bru.by/bitstream/handle/1212121212/6727/140_ Mnogomernuyregresionnuy_ analiz.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (дата обращения: 19.02.2024).

11. Афанасьев, В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник / В. Н. Афанасьев. - Оренбург: Ай Пи Ар Медиа – 2020. – 286 с.

12. Алексеева, В. А. Анализ временных рядов: учебное пособие / В. А. Алексеева. – Ульяновск: УлГТУ, 2020. – 147 с.

УДК 621.396

Невокшанов[1] В.Б., Плотников[2] Д.В., Бычкова[3] К.С., Богородицкий[4] А.В., Григорьев[5] В.М., Рыбаков[6] И.М., Супалдьяров[7] А.Г., Бейсембаева[8] Б.С.

[1,2,3,4,5,6,7,8] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

Аннотация. Внешние цепи защиты делятся на цепи защиты силовых цепей, цепи защиты силовых входов и цепи защиты сигнальных входов. Для защиты цепей питания используются изоляционные трансформаторы, стабилизаторы напряжения и источники бесперебойного питания. Изолирующие трансформаторы формируют отсечку синфазных помех в контурах заземления сигнальных и силовых кабелей. Индуктивная связь позволяет нормально передавать дифференциальное напряжение, а гальваническая развязка предотвращает прохождение через трансформатор напряжений общего режима. Решением проблем электромагнитной совместимости, вызванных колебаниями напряжения в сети переменного тока, скачками напряжения и даже перебоями в подаче электроэнергии, является использование стабилизаторов напряжения и источников бесперебойного питания.

Ключевые слова: защита электроники, надежность, работоспособность, источники бесперебойного питания

Nevokshanov[1] V.B., Plotnikov[2] D.V., Bychkova[3] K.S., Bogoroditsky[4] A.V., Grigoryev[5] V.M., Rybakov[6] I.M.

[1,2,3,4,5,6,7,8] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

METHODS OF PROTECTION OF INTEGRATED CIRCUITS FROM ELECTROSTATIC DISCHARGE

Annotation. External protection circuits are divided into protection circuits of power circuits, protection circuits of power inputs and protection circuits of signal inputs. Insulating transformers, voltage stabilizers and uninterruptible power supplies are used to protect the power supply circuits. Isolating transformers form a cutoff of common-mode interference in the grounding circuits of signal and power cables. Inductive coupling allows the differential voltage to be transmitted normally, and galvanic isolation prevents the passage of common-mode voltages through the transformer. The solution to EMC problems caused by voltage fluctuations in the AC network, voltage surges and even power outages is the use of voltage stabilizers and uninterruptible power supplies.

Keywords: protection of electronics, reliability, operability, uninterruptible power supplies

Введение

В нашем случае (защита интегральных микросхем от электростатического разряда) наибольший интерес представляют схемы защиты линий электропередачи и особенно линий СЦБ. Как правило, этот вид защиты строится с помощью комбинированных схем. Основными элементами комбинированной защиты от перенапряжений являются газоразрядные приборы, тиристорные защитные элементы, варисторы, лавинные диоды (TVS-диоды) и различные фильтры. Газовые разрядники и тиристорные элементы защиты относятся к элементам защиты от коротких замыканий и используются в качестве первичных элементов защиты для шунтирования цепи защиты. Остаточное напряжение на первичном элементе защиты ограничивается варисторами и лавинными диодами, которые являются ограничителями напряжения. После ограничения амплитуды сигнала помехи на выходе комбинированной схемы остаются низкоамплитудные низкочастотные и высокочастотные помехи. В определенных диапазонах частот эти помехи подавляются соответствующими фильтрами с ограничителями спектра.

Обеспечение защиты

Если речь идет о защите от ESR, то для этой цели можно использовать только варисторы, диоды и фильтры. В этом случае бессмысленно использовать газовые разрядники или тиристоры. Это связано с тем, что для их включения требуется электромагнитный импульс высокой энергии (например, молниезащита). Кроме того, основными элементами, ограничивающими амплитуду напряжения ESR, считаются варисторы и защитные диоды.

Для защиты от импульсных перенапряжений могут эффективно использоваться разрядники в виде защитных лавинных диодов. Они подавляют переходные напряжения как на положительном, так и на отрицательном полюсах. Их главная особенность - высокий показатель нелинейности. Диоды имеют другую емкость нагрузки, чем металлооксидные варисторы. Варисторы имеют большую емкость нагрузки из-за большего объема протекающего через них тока. Диоды имеют меньшую площадь, на которой ток преобразуется в тепло, что приводит к более высокому тепловыделению компонентов. Вольтамперные характеристики варисторов не меняются при поглощении энергии (хотя и зависят от температуры).

Диодные ограничители используются для защиты входных и выходных цепей, линий короткого замыкания и напряжений питания постоянного тока от 6 до 250 В. Благодаря малой емкости (в пикофарадах) их можно использовать в высокочастотных цепях и в распределительных щитах для высокоскоростных устройств. При применении таких ограничителей большое влияние оказывают паразитные параметры монтажа, в частности индуктивность выводов защитных компонентов и индуктивность монтажного соединения между соответствующим выводом компонента и шиной заземления. Это показано на рисунках 1 и 2. Наличие паразитных емкостных и индуктивных параметров монтажа ухудшает высокоскоростные характеристики компонентов защиты, а паразитная емкость между элементами монтажа создает высокочастотный внешний токовый путь в обход компонентов защиты. Поэтому при проектировании корпусов следует уменьшить индуктивность за счет увеличения ширины проводников заземления и подключения

выводов к слою опорного напряжения, уменьшить емкость между сигнальными проводниками и уменьшить ширину проводников, чтобы увеличить расстояние, насколько это возможно. Кроме того, уменьшение емкости между проводниками и снижение индуктивности гарантирует, что зазоры на поверхности платы будут максимально заполнены пленками под опорным напряжением или потенциалом питания.

Для максимальной эффективности защиты сигнальных цепей от ESR варисторы и лавинные диоды могут быть использованы в комбинированной схеме защиты, показанной на рис. 1. В этой схеме варистор является основным ограничивающим элементом. Напряжение, ограничиваемое варистором, распределяется между последовательным элементом и диодом. Таким образом, достигается двухступенчатое снижение напряжения. Последовательный элемент также ограничивает ток через вторичный элемент, обеспечивая правильное распределение тока между первичным и вторичным элементами.

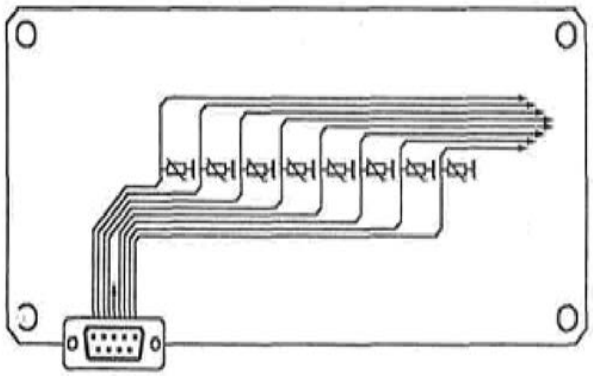


Рисунок 1 - Установка ограничителей на печатной плате

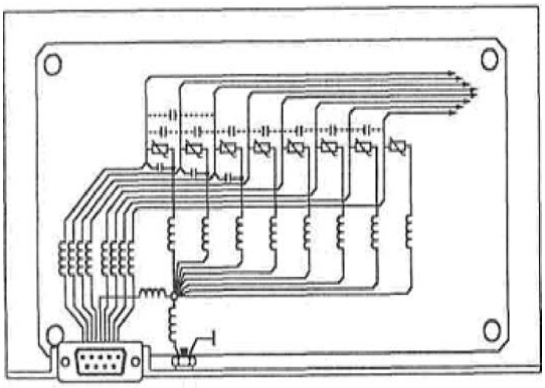


Рисунок 2 - Эквивалентная схема узла установки ограничителей на печатную плату

Теперь давайте подведем итоги и определим эффективность использования схемных методов для снижения помех, вызванных электростатическими разрядами. Предположим, что расчетный уровень защиты может снизить уровень напряжения, воздействующего на оборудование, с 20 до 1 кВ. Предельный уровень для варисторов с первичными элементами защиты должен находиться в диапазоне 500-600 В, поскольку варисторы с низким выдерживаемым напряжением не рассчитаны на входное напряжение 1 кВ. Аналогично, уровень ограничения напряжения для диодов с вторичными элементами защиты должен находиться в диапазоне 200-250 В. Таким образом, после защиты оборудования по схеме вход интегральной микросхемы подвержен воздействию импульсных помех, вызванных электростатическим разрядом.

Требования к встроенным средствам защиты от ЭСР интегральных микросхем

На рисунке 3 показаны пределы энергии, при которых могут быть повреждены различные компоненты РЭС. Как видно, интегральные микросхемы повреждаются в широком диапазоне энергий от 10^{-7} джоулей до 10^{-3} джоулей. Энергия электростатического разряда от модели человеческого тела (НВМ) составляет 0,2 джоуля. Поэтому внешняя защита должна значительно снижать энергию электростатического разряда.

Важным требованием к встроенной защите является то, что условия, при которых применяется схема защиты, не должны нарушать параметры ИС защиты. Некоторые другие требования таковы:

- Площадь должна быть небольшой;
- Разрядное напряжение, прикладываемое к схеме, должно быть эффективно ограничено; и
- Шунтирование перегрузочных напряжений и токов, генерируемых при ESR;
- Ограничение физической площади схем на кристалле, подверженных влиянию ESR;
- максимально быстрое время отклика в диапазоне изменения напряжения питания и минимизация задержки по сравнению с нормальной работой ИС.

Давайте определим основные параметры, необходимые для встроенного устройства защиты, чтобы обеспечить работоспособность КМОП-микросхемы, чувствительной к ESR. Рассмотрим уровень напряжения, при котором встроенная схема защиты должна понижать входное напряжение: КМОП-микросхемы работают при напряжении питания до 15 В. В этом случае пиковое значение импульса, при котором не происходит пробоя оксидной пленки нижнего затвора, может быть увеличено до 30 В. Скорость срабатывания защитного элемента должна быть менее 1 нс. Наиболее сложной задачей является минимизация задержки сигнала и частотных искажений, которые полезны при нормальной работе схемы. В настоящее время существуют высокочастотные КМОП-микросхемы, работающие на частотах до 10 ГГц. Поэтому схемы их защиты должны иметь такую же полосу пропускания. Поскольку защита микроконтроллера от ЭСР устанавливается на различном оборудовании вблизи различных портов и пользовательских интерфейсов, к которым может прикоснуться оператор, то обеспечить достаточную полосу пропускания для различных микроконтроллеров с рабочими частотами от 20 до 100 МГц не составляет труда.

Согласно данным об эффективности уровней защиты в конструкциях и схемах, встроенная защита в интегральных микросхемах требует снижения напряжения напряжения с 250 В до 30 В. На самом деле многие микросхемы могут выдерживать удары напряжением 500 В и даже 1000 В, поскольку в устройствах редко используется вся вышеупомянутая комбинированная защита

от ESR. В данном случае максимальное напряжение, которое должна защищать внутренняя схема защиты, составляет 500 В.

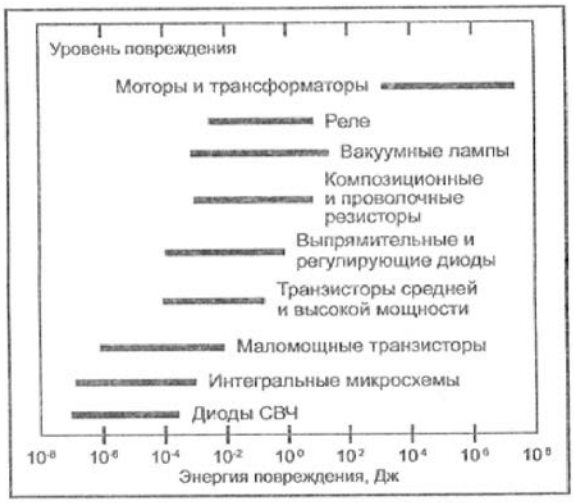


Рисунок 3 - Энергия повреждения основных компонентов РЭС

Поэтому требования к встроенным элементам защиты в КМОП-микросхемах от ESR:

- Импульсное напряжение должно быть снижено с 500 В до 30 В;
- скорость работы элемента - менее 1 нс;
- максимально возможная полоса пропускания (в зависимости от микросхемы, в которой реализована схема защиты).

Эти требования являются исходными данными для разработки моделей интегральных элементов защиты.

Заключение

Существует три уровня защиты оборудования от помех: уровень защиты конструкции, уровень защиты схемы и уровень структурно-функциональной защиты. Конструктивный и схемный уровни снижают уровень помех до значения, которое не приведет к необратимому выходу оборудования из строя. Структурно-функциональная защита является пассивной и корректирует передаваемую информацию, искаженную помехами. Конечно, этот вид защиты не может защитить от воздействия ЭМИ, которые выводят беспроводное электронное оборудование из строя. Однако благодаря этой защите устройство корректно функционирует в присутствии помех, ослабленных защитной схемой.

Такие методы проектирования, как экранирование, могут обеспечить очень высокое ослабление помех - до 100 дБ. Однако, если рассматривать оборудование не специального назначения, эффективность такого экранирования никогда не превысит 30 дБ из-за различных отверстий, портов, пользовательских интерфейсов, кабелей и т. д. Такое экранирование может снизить уровень напряжения ESD с 20 кВ до 1 кВ.

Среди схемотехнических средств для защиты от электростатического разряда подходят такие элементы, как варисторы, лавинные диоды и их комбинированные схемы. Применяя эти средства защиты, амплитуду импульсных помех можно снизить с 1 кВ до 250 В. Поскольку такие защитные комбинированные схемы применяются не во всех устройствах, остается резерв для защитных мер от электростатических разрядов, встроенных в ИС.

Приведенные выше результаты определяют требования к внутренним мерам защиты от ESD в интегральных схемах:

- Снижение импульсного напряжения с 500 В до 30 В;
- Скорость работы устройства - менее 1 нс;
- Максимально возможная полоса пропускания (в зависимости от микросхемы, в которой реализована схема защиты).

Эти требования являются исходными данными для разработки моделей интегрированных элементов защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Rybakov, "Information System for Measuring Thermophysical Parameters of Electronic Appliances Based on Temperature Field Models," 2022 XIX Technical Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky (TSCZh), Moscow, Russian Federation, 2022, pp. 50-53, doi: 10.1109/TSCZh55469.2022.9802495.

2. Yurkov N.K., Kochegarov I.I., Rybakov I.M., Grishko A.K., Goryachev N. Multi-criteria assessment of the technical level of complex system based on the formation of the Fishburn value function of its unit estimated indicators // INTELS-2022.

3. Рыбаков И.М., Ануар Г.А., Юрков Н.К., Лысенко А.В., Кошелев Н.Д. Анализ измерительных систем управления тепловым режимом с использованием материалов с фазовым переходом в электронной аппаратуре // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2022. Т. 2. С. 75-77.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022665774 Российская Федерация. Программный модуль управления микроконтроллером ATmega 8A в режиме реального времени: № 2022665267: заявл. 11.08.2022: опубл. 22.08.2022 / П. Г. Кошеленко, Б. Ж. Куатов, И. М. Рыбаков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пензенский государственный университет". – EDN WMVBIC.

5. А.В. Лысенко, И.М. Рыбаков, Н.В. Горячев, С.А. Бростилов, Н.К. Юрков Формирование управляющего сигнала интеллектуальной системы вибрационных испытаний электронной аппаратуры // Проектирование и технология электронных средств. – 2022. – № 3. – С. 48-53

УДК 621.396

Невокшанов[1] В.Б., Шарков[2] В.В., Камышов[3] Г.А., Григорьев[4] В.М., Ануар[5] Г.А., Рыбаков[6] И.М.

[1,2,3,4,5,6] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ, СТОЙКИХ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Аннотация. Современное космическое оборудование состоит из интегральных схем с различной степенью интеграции. Такие устройства характеризуются более высоким быстродействием и более низкими рабочими напряжениями компонентов и энергопотреблением. Это направление развития позволило снизить себестоимость производства электронных компонентов, в первую очередь микросхем, экономить электроэнергию и увеличить тактовую частоту электронных компонентов. Такой подход был очень эффективен как с экономической, так и с технической точки зрения, но на данном этапе его было явно недостаточно для того, чтобы закон Мура продолжал действовать. Возникла необходимость кардинально изменить метод подачи опорных сигналов на кристалл. Компания AMD, пионер в этом деле, предложила использовать классическую древовидную структуру распространения сигнала, но с применением резонансной сетки тактовых генераторов, чтобы энергия, получаемая кристаллом, могла использоваться в процессе, не рассеиваясь. Intel также представила совершенно новую технологию - Tri-Gate. Суть этой технологии заключается в использовании трехмерных транзисторов, что должно значительно снизить электрические потери в кварцевых кристаллах. В то же время технологические процессы стали настолько изощренными, что передовые компании уже освоили массовое производство чипов по технологическим нормам 28 нм и 22 нм и готовят производственные линии по 20 нм. На фоне этих тенденций особенно остро встает вопрос помехоустойчивости выпускаемых микросхем. Ведь более низкие напряжения питания значительно повышают чувствительность микросхем к шумам, а более тонкие технологические процессы делают интегральные элементы более восприимчивыми к тепловой и электрической деградации. Если общие вопросы электромагнитной совместимости можно решить на этапе проектирования печатной платы, то проблема устойчивости к электростатическому разряду (ESD) до сих пор не решена.

Ключевые слова: электронные компоненты, надежность, тепловой и электрический пробой

Nevokshanov[1] V.B., Sharkov[2] V.V., Kamyshov[3] G.A., Grigoriev[4] V.M., Anuar[5] G.A., Rybakov[6] I.M.

[1,2,3,4,5,6] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

DESIGN METHODS FOR HIGHLY RELIABLE ELECTRONIC DEVICES, RESISTANT TO ELECTROMAGNETIC INFLUENCES

Annotation. Modern space equipment consists of integrated circuits with varying degrees of integration. Such devices are characterized by higher performance and lower operating voltages of the components, and energy consumption. This development direction has made it possible to reduce the cost of production of electronic components, primarily microcircuits, save electricity and increase the clock frequency of electronic components. This approach was very effective from both an economic and technical point of view, but at this stage it was clearly not enough for Moore's law to continue to operate. It became necessary to radically change the method of applying reference signals to the crystal. AMD, a pioneer in this field, proposed using the classic tree-like structure of signal propagation, but using a resonant grid of clock generators so that the energy produced by the crystal could be used in the process without dissipating. Intel has also introduced a completely new technology - Tri-Gate. The essence of this technology is the use of three-dimensional transistors, which should significantly reduce electrical losses in quartz crystals. At the same time, technological processes have become so sophisticated that advanced companies have already mastered the mass production of chips according to technological standards of 28 nm and 22 nm and are preparing production lines of 20 nm. Against the background of these trends, the issue of noise immunity of manufactured chips is particularly acute. After all, lower supply voltages significantly increase the sensitivity of chips to noise, and more subtle technological processes make integrated elements more susceptible to thermal and electrical degradation. If the general EMC issues can be solved at the design stage of a printed circuit board, then the problem of resistance to electrostatic discharge (ESD) has not yet been solved.

Keywords: electronic components, reliability, thermal and electrical breakdown

Введение

Значительную часть своего производственного цикла микросхемы проводят вне платы, на которой они впоследствии будут использоваться. Некоторые из них, например, центральные процессоры и оперативная память, остаются незащищенными на плате до тех пор, пока не попадают к конечному пользователю и не устанавливаются на свои места. Поэтому вопрос взаимодействия с окружающей средой, в том числе с человеческим телом, всегда важен во время эксплуатации оборудования, которая в большинстве случаев неизбежна. Поэтому необходимо проводить моделирование работы микросхем в условиях воздействия ESR.

Рост скорости компьютерных технологий и миниатюризация элементной базы привели к появлению множества электрических устройств, уровни сигналов которых измеряются в микроамперах и микровольтах или меньше, а частоты сигналов могут достигать гигагерц. На таких частотах распространение электромагнитных полей от обычных проводников во внешнее поле значительно возрастает, вызывая помехи для соседних электрических элементов пропорционально полезному сигналу. Это

негативно сказывается на работе технических средств, расположенных на близком расстоянии.

Кроме того, на реальные условия работы оборудования могут влиять различные виды электромагнитных помех (ЭМП), вызванных естественными и техногенными электромагнитными импульсами (ЭМИ). Естественные электромагнитные импульсы генерируются сильными разрядами молнии. Искусственные вызываются излучением передающего оборудования телекоммуникационных станций или высоковольтных линий электропередач, а также внутренними переходными процессами в работающем оборудовании. Воздействие электромагнитных импульсов на изделия электронной техники приводит к изменению их параметров и отказам, как из-за прямого поглощения энергии, так и из-за наведенных эффектов тока и напряжения в цепи [2].

Наиболее распространенные необратимые отказы космического оборудования вызваны такими явлениями, как электростатический разряд. Электростатические разряды возникают, когда трение вызывает высвобождение накопленных электрических зарядов. Заряд может достигать десятков тысяч вольт. Такие разряды выводят из строя интегральные схемы, а интегральные схемы становятся все более чувствительными к перенапряжениям, поскольку их топологический размер уменьшается с каждым годом. В настоящее время наиболее совершенными являются микросхемы, изготовленные по технологии КМОП. Они обладают множеством преимуществ, таких как симметричные пороги перехода логических уровней, непостоянные напряжения питания, совместимость с ТТЛ-уровнями и более высокая скорость работы за счет более тонких оксидных пленок под затвором. Однако эти микросхемы наиболее восприимчивы к электростатическому разряду. Структура оксидной пленки затвора и подложки представляет собой конденсатор с очень тонким диэлектриком, который может легко разрушиться при приложении перенапряжения. Поэтому цифровые микросхемы должны быть защищены от ESR. Кроме того, защита оборудования реализуется на всех уровнях, микросхемы имеют встроенные схемы защиты, но помимо этого в оборудовании используются отдельные схемы защиты от перенапряжений. Только при таком подходе цифровые микросхемы могут быть защищены от необратимых сбоев.

При разработке устройств, работающих в конкретной электромагнитной обстановке, сложно оценить поведение элементной базы или устройства в целом под воздействием факторов нестабильности. Для этого необходимы натурные испытания опытных образцов. Однако гораздо экономичнее моделировать такие эффекты, как ESR, и вводить необходимые внешние меры защиты на этапе проектирования аппаратуры. Программное обеспечение для моделирования схем не предусматривает встроенной защиты от высоковольтных перенапряжений в цифровых моделях микросхем. Поэтому для моделирования эффектов ESR необходимо смоделировать такую встроенную защиту. Эти модели защиты могут быть включены в некоторые модели микросхем, что позволяет проводить виртуальные эксперименты по изучению влияния ESR на элементную базу и аппаратуру, в которой она используется.

Конструкторский уровень защиты

Методы проектирования экранирования включают экранирование (например, экранированные корпуса, средства повышения эффективности экранирования, защита отверстий и кабельных заземлений), зонирование и разумное заземление [1, 2].

Общим методом экранирования является размещение электромагнитного барьера между источником и приемником помех. Для источников вне системы барьеры могут быть реализованы на системном уровне. Для источников внутри системы электромагнитная совместимость требует наличия двух барьеров: одного для контроля излучения вблизи источника и одного для контроля восприимчивости в приемнике. Эта концепция проиллюстрирована на рисунке 1.

Барьеры на пути распространения электромагнитных волн реализуются в виде экранов, используемых для снижения уровня помех от внешних источников электромагнитных колебаний во внутренних цепях электронного оборудования и, наоборот, для ограничения уровня помех от внутренних цепей до уровней, указанных в требованиях ЭМС для такого оборудования. Экранирование должно быть идеальным. Это связано с тем, что неоднородности, например, в виде отверстий, приводят к нарушениям однородности и помехам при контроле состояния.

Очевидным способом защиты ТС от ЭМИ является режим общей изоляции. Этот режим означает, что все внешние соединения отключаются от защищаемого объема, в котором находится ТС. Этот метод хорошо зарекомендовал себя для защиты многих типов оборудования (например, мобильных радаров, оборудования связи и управления, используемого в самолетах), но не подходит для большинства стационарных объектов.

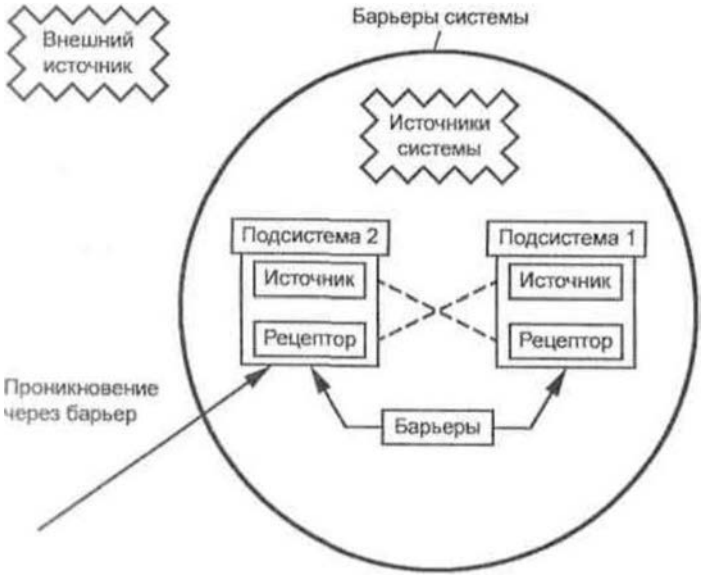


Рисунок 1 - Топология системных барьеров

Экраны должны не только снижать уровень излучаемых электромагнитных полей, но и не переизлучать электромагнитные поля за счет токов, наведенных в экране. Это является серьезной проблемой для обеспечения целостности экрана. Металлические экраны могут внести свой вклад в коэффициент ослабления поля, если их правильно комбинировать в соответствии с концепцией многослойных экранов. Эти конструкции могут быть оптимально использованы только в том случае, если отдельные экраны пространственно разделены, а проникающие интерфейсные линии (шина, земля, питание) входят в экран только в одной точке. Только в этом случае защитное устройство может предотвратить проникновение паразитных токов в защитное поле или выход из него.

В плохо спроектированных экранах с несколькими точками входа наведенные напряжения, вызванные токами, протекающими через экран, могут попасть в защитное поле и обойти защитное устройство. Множество точек заземления на таких экранах увеличивают амплитуду синфазного шума, передаваемого от излучающего поля к устройству. Поэтому выгодно иметь единую точку входа для всех кабелей. Это означает, что все меры защиты от токов помех, проходящих по кабелю, должны быть расположены как можно ближе к экрану. Кроме того, потенциал заземления всего оборудования в защищаемой зоне должен быть получен только из одной точки ввода.

Две основные концепции топологии монтажа между точками ввода и внутренним оборудованием показаны на рисунке 2.

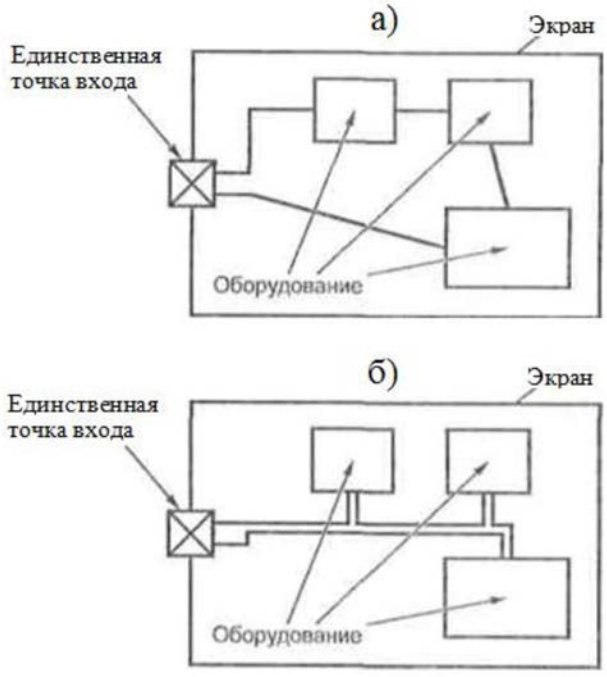


Рисунок 2 - Концепция топологии монтажа: а — в виде замкнутого контура, б — в виде дерева

В топологии с замкнутым контуром (рис. 2,а) соединения в экране могут быть выполнены произвольно. Проникающие электрические поля вызывают напряжения и токи в кабельных петлях. Эти напряжения могут повлиять на работу ТС. Поэтому данную топологию следует использовать только при высокой эффективности экранирования и низкой напряженности поля в экранированной области. Следует отметить, что наличие нескольких шлейфов в экранированной зоне может вызвать взаимные помехи между оборудованием, установленным в этой зоне.

Топология древовидного монтажа (рис. 2, б) предполагает наличие контуров с очень малой площадью и близко расположенными прямыми и обратными токовыми путями. В этом случае проникающее электрическое поле может индуцировать только синфазные сигналы и менее чувствительно к системным эффектам (сигналы на линии и сигналы на рабочем грунте имеют одинаковую амплитуду и фазу). Такая топология установки подходит для участков с относительно низкой эффективностью экранирования. При использовании высококачественных экранированных кабелей и/или металлических кабелепроводов требования к эффективности экранирования могут быть еще более снижены.

В пространственно распределенном оборудовании космических аппаратов могут быть определены различные уровни экранирования. Одним из критериев для определения таких зон и степеней защиты является разделение космического аппарата на ответственные участки оборудования, которые не должны быть защищены, или разделение участков космического аппарата в соответствии с их чувствительностью. Эта процедура известна как зонирование. Правильное зонирование означает, что применяется достаточная защита от помех, чтобы оставшиеся передаваемые помехи в зоне были сопоставимы с излучаемыми помехами, так что помехи в зоне не являются более доминирующими, чем уровень помех в цепи питания. Классификация по областям может быть сделана только путем сравнения чувствительности устройства к каждому типу помех.

Если используются экранированные кабели или экранированные кабельные лотки, все экраны должны быть соединены вместе во всех конфигурациях топологии. Корпус оборудования также должен быть соединен с экранами кабелей. Концепция целостности экрана включает в себя использование качественных разъемов в местах ввода кабеля в оборудование и отказ от соединений кабелей в оплетке и других подобных вариантов, которые неэффективны с точки зрения ЭМС.

Заземление корпусов с помощью проводов увеличивает общее сопротивление и может обеспечить электробезопасность только для человеческого тела. Функциональное заземление должно быть спроектировано таким образом, чтобы минимизировать импеданс (доли ома) на максимальной рабочей частоте или частотах, подверженных воздействию электромагнитного излучения.

При проектировании печатных плат с учетом экранирования, зонирования и заземления следует использовать следующие методы проектирования

- Располагайте шины питания и заземления как можно ближе;
- Минимизировать длину проводников;
- Избегайте сетчатых схем для силовых и земляных слоев;
- Избегайте разделения проводников на несколько параллельных проводников;
- Стройте линии связи с прямыми и обратными проводниками.

Схемотехнический уровень защиты

Методы защиты цепей преднамеренно изменяют структуру схемы или добавляют дополнительные элементы, чтобы ослабить влияние кондуктивно излучаемых ЭМИ на нормальную работу ТС. Применяемые экранирующие устройства затем используются как для ослабления кондуктивных электромагнитных помех из окружающей среды в цепях во внутреннем (относительно экрана) поле, так и, наоборот, для ограничения эмиссии кондуктивных помех от внутренних источников помех в окружающей среде. Это означает, что необходимо использовать двунаправленные экранирующие элементы [3-9]. Основным требованием к экранирующим элементам является минимизация их влияния на работу защитной цепи (устройства или оборудования) в отсутствие ЭМИ. Это особенно важно для широкополосных устройств и высокоскоростных цифровых систем. Электрические параметры, включая "паразитные", вносимые защитными мерами, не должны ухудшать технические характеристики технических мер, например, скорость. Резюмируя вышесказанное, можно выделить три основных требования к защитным мерам:

- При отсутствии ЭМИ влияние на работу защитной цепи должно быть сведено к минимуму;
- быстрое увеличение токов и напряжений должно быть обеспечено;
- соответствующие статистические и динамические характеристики и достаточная допустимая токовая нагрузка. Классификация защитных устройств приведена в таблице 1.

Основные устройства и компоненты защиты от кондуктивных помех Таблица 1

Принцип действия	Тип устройства или компонента
Пробойное снижение напряжения	Газоразрядные трубки Искровые разрядники Плавкие ограничители Ограничители на основе нелинейного сопротивления Ограничители электробезопасности для мобильной аппаратуры (для постоянного тока, напряжение более 400 В)
Ограничение напряжения	Метало-оксидныс варисторы Защитные лавинные диоды (полупроводниковый стабилитрон с лавинным пробоем)
Ограничение частотного спектра	Фильтры Защитные цепи
Гальваническая развязка	Оптические устройства Развязывающие трансформаторы
Комбинированные методы	Защитные цепи Ограничители электробезопасности
Высокочастотные коаксиальные линии	Шлейфовые линии Резонаторы

Различие в работе между группой приборов, работающих на принципе пробоя и ограничителей напряжения, заключается в том, что в первом случае после достижения напряжения на приборе некоторого уровня пробоя напряжение на нем падает до уровня поддержания искрового разряда (например, для газозразрядных трубок). Ограничители напряжения удерживают напряжение на уровне стабилизации. Это иллюстрируется на рисунке 3.



Рисунок 3 - Ограничение напряжения разрядниками (слева) и стабилизаторами

В целом, сетевые фильтры являются полностью нелинейными устройствами. При заданном напряжении их сопротивление находится в диапазоне мегаом, но под воздействием помех его сопротивление быстро падает до единиц или долей ома. Поэтому их эффективность не может быть выражена в децибелах или напрямую сравнена.

При воздействии импульсного напряжения помех на защитные устройства устанавливаются определенные параметры эффективности испытаний. Например, газоразрядные устройства должны обеспечивать разряд при изменении напряжения со скоростью менее 100 В/мкс. В большинстве случаев универсального защитного устройства не существует, поэтому выбор специализированных схем защиты и компонентов является компромиссом. Такие параметры, как "время включения" и "время задержки", зависят от скорости изменения напряжения dv/dt и тока di/dt, которые, в свою очередь, зависят от параметров корпуса и концевых элементов (индуктивности и емкости) и их установки.

Защитные свойства при воздействии импульсов проявляются по-разному в зависимости от параметров, количества и времени повторения импульсов. Отдельные компоненты защиты могут быть протестированы для наиболее важных случаев: dv/dt и di/dt. В этих цепях не происходит наложения остаточных напряжений из-за различных комбинаций воздействий. В комбинированных цепях, где фильтр используется в качестве вторичного защитного элемента, интеграция результатов различных воздействий влияет на остаточное напряжение. В худшем случае это напряжение не должно превышать допустимого.

Потери, обусловленные фильтрами, установленными на линии, и коэффициент затухания экрана также представляют собой два различных эффекта. Однако следует отметить, что если остаточное напряжение (или энергия) кондуктивной помехи на линии в экранирующем поле сравнимо с напряжением (или энергией), индуцированным на линии электрическим полем, проходящим через экран, то дальнейшее снижение напряжения (или энергии) кондуктивной помехи все же целесообразно.

При оценке защитных свойств защитного устройства при воздействии ЭМИ необходимо учитывать, что поведение реальной конструкции может отличаться от результатов испытаний. В случае коротких импульсов на лицевой стороне основной эффект оказывает индуктивность выводов и монтажа защитных элементов, происходит

снижение напряжения, пропорциональное скорости изменения индуктивности и тока, проходящего через эти элементы. В случае защитных элементов, основанных на принципе падения пробивного напряжения, таких как газоразрядные трубки, возможно даже увеличение dv/dt и di/dt и увеличение остаточного напряжения, если конструкция вторичной защиты комбинированной схемы не соответствует требованиям. При проектировании комбинированных схем защиты необходимо обратить внимание на изоляцию между первичными и вторичными элементами защиты, чтобы исключить влияние помех на них.

Плавкие ограничители не рекомендуется использовать для защиты от ЭМИ.

Ограничители на основе нелинейных резисторов используются в цепях постоянного тока, где один или несколько искровых разрядников соединены последовательно с одним или несколькими нелинейными резисторами. Для защиты от мощных ЭМИ максимальная скорость изменения напряжения при контроле напряжения зажигания составляет 100 кВ/мкс и 1 кВ/нс.

Лавинные диоды используются только в параллельном соединении для уменьшения общей емкости; максимальная пиковая мощность для приложений защиты от ЭМИ указана для пикового тока заданной формы импульса длительностью 100 нс. Максимальное напряжение компонента составляет

Оно определяется пиковым импульсным током 8/20 мкс. Высокая скорость работы лавинных диодов очень высока: переход в состояние проводимости происходит за наносекунды. Однако в реальных условиях это быстродействие снижается из-за влияния индуктивных параметров конструкции диода, обусловленных быстрой скоростью изменения тока. Остаточное напряжение на диоде представляет собой сумму его собственного предельного напряжения и падения напряжения на индуктивности проводов.

Во всех случаях, когда падение напряжения на корпусе защитного элемента или индуктивном элементе провода зависит от скорости изменения тока, наибольшее собственное напряжение подавления компонента не совпадает по времени с наибольшим напряжением на индуктивном элементе, поэтому в большинстве случаев их можно рассматривать независимо.

Структурно-функциональный уровень защиты

Структурные и функциональные методы экранирования предполагают изменение структуры ТС или принципа работы отдельных компонентов и характера используемых сигналов для повышения устойчивости ТС к ЭМИ.

Снижение чувствительности систем ТС к ЭМИ зависит не только от экранирования и заземления, но и от используемой системы модуляции и кодирования сигналов. Системы модуляции, такие как амплитудная модуляция, частотная модуляция и фазовая модуляция, обладают присущей им помехоустойчивостью. Например, системы частотной модуляции очень нечувствительны к амплитудному шуму. Для повышения помехоустойчивости можно использовать такие методы цифровой обработки сигналов, как амплитудное кодирование, широтно-импульсное кодирование и частотное кодирование. Преимущества схем кодирования и модуляции зависят от каждого конкретного случая, и предпочтительность их использования определяется рядом факторов. Использование различных схем кодирования и модуляции для снижения чувствительности ТС к помехам более подробно рассматривается в разделе "Теория обеспечения требований ЭМС ТС".

Восприимчивость ТС к ЭМИ сильно зависит от используемого диапазона частот и используемой системы сигнализации. Поэтому очевидным методом защиты в данном случае является увеличение энергии полезного сигнала, амплитуды, длительности и соответствующий выбор несущей частоты принимаемого сигнала с учетом возможных спектральных характеристик ЭМИ.

Следует также уделить внимание выбору структуры сигнала:

- Для уменьшения степени влияния ЭМИ временная последовательность опорного сигнала должна быть кратной;
- В фазомодулированных системах связи вероятность ошибки из-за импульсной интерференции в два раза ниже, чем при когерентном приеме амплитудно-модулированных и частотно-модулированных сигналов (при одинаковой полезной мощности сигнала).

Одним из аспектов повышения устойчивости ТС к ЭМИ является использование алгоритмических методов. Например, в современных ТС могут быть реализованы программы с несовершенными алгоритмами декодирования, которые могут отклонять декодирование достаточно подозрительных одиночных сигнальных последовательностей (применимо, когда ошибки декодирования не допускаются).

В последнее время все большее внимание уделяется разработке быстродействующих датчиков, которые обнаруживают начало воздействия ЭМИ, чтобы сигнал командовал ТС для прекращения нежелательных эффектов, возникающих в ТС. Например, для

сброса схемы, в которой был сгенерирован ложный сигнал, для принудительного выполнения операции восстановления или для других целей.

Замена кабельных и проводных линий связи на оптоэлектронные системы, т.е. уменьшение количества токовых петель и соединений между отдельными узлами и блоками, позволяет значительно снизить влияние ЭМИ на работоспособность ТС.

Заключение

В современном космическом оборудовании используются интегральные схемы с высокой производительностью и более низким напряжением/потреблением энергии, что позволяет снизить стоимость производства и увеличить тактовую частоту. Однако этого недостаточно для выполнения закона Мура. Компании AMD и Intel представили новые методы: Резонансная тактовая решетка AMD для распространения сигнала и технология Tri-Gate Intel для 3D-транзисторов, снижающая электрические потери. Передовые компании серийно выпускают чипы по 28 нм, 22 нм и готовятся к 20 нм. Из-за более низких напряжений питания и более тонких технологических процессов возникает проблема помехоустойчивости, а проблема устойчивости к электростатическим разрядам (ESD) остается нерешенной.

Сетевые фильтры, используемые для защиты от электромагнитных помех, представляют собой нелинейные устройства, сопротивление которых под воздействием помех падает до единиц/долей ома. Эффективность защитных устройств не поддается прямому сравнению, а газоразрядные устройства должны разряжаться со скоростью менее 100 В/мкс. Остаточное напряжение фильтров комбинированных цепей не должно превышать допустимого. При оценке защитных свойств реальное поведение конструкции может отличаться от результатов испытаний. Плавкие ограничители не рекомендуются для защиты от ЭМИ. Нелинейные резисторы и лавинные диоды используются в цепях постоянного тока и мощных цепях ЭМИ. Структурные и функциональные методы экранирования, такие как модуляция сигнала, кодирование и увеличение энергии полезного сигнала, могут повысить устойчивость системы к ЭМИ. Все большее внимание привлекают быстродействующие датчики, обнаруживающие воздействие ЭМИ. Замена кабельных и проводных линий связи на оптоэлектронные системы снижает влияние ЭМИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Rybakov, A.V. Lysenko, N.V. Goryachev, I.I. Kochegarov and N.K. Yurkov, "Enhancing the Accuracy of Reliability Prediction for Electronic Equipment through Improving Models and Calculation Methods," 2023 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russian Federation, 2023, pp. 1-7, doi: 10.1109/WECONF57201.2023.10147959.

2. N.K. Yurkov, I.M. Rybakov and E.T. Eskibaev, "The System of Measuring Thermal Conductivity of Bodies with Internal Heat Sources in Modern Aerospace Vehicles Operation Control," 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russian Federation, 2023, pp. 861-866, doi: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139123.

3. I.I. Kochegarov, E.T. Eskibaev, N.D. Koshelev, I.M. Rybakov and G.A. Anuar, "On the Problem of the Earth Remote Sensing by Unmanned Aircraft," 2023 XX Technical Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky (TSCZh), Moscow, Russian Federation, 2023, pp. 6-12, doi: 10.1109/TSCZh58792.2023.10233566.

4. Ескибаев Е.Т., Ануар Г.А., Избасов А.Г., Рыбаков И.М., Байсеитов М.Н., Григорьев А.В. Математическое и программное обеспечение информационно-измерительной системы повышения надежности конструкций электронной аппаратуры // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 2. С. 90-106. doi: 10.21685/2072-3059-2023-2-7

5. N.K. Yurkov, I.I. Kochegarov, A.K. Grishko and I.M. Rybakov, "Problems of Equipment Control in Automatic Information-measuring Control Systems," 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), Lipetsk, Russian Federation, 2023, pp. 535-541, doi: 10.1109/SUMMA60232.2023.10349550.

УДК 615.47

Пызаров[1] И.А., Мырзагалиев[2] М., Рыжаков[3] К.Р., Шарков[4] В.В., Сапрыкин[5] Д.Р.
[1,2,3,4,5] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1] kipra@pnzgu.ru

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ МАНУАЛЬНО-ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ НЕФРИТОВЫХ И ТУРМАЛИНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Аннотация. Статья посвящена технологиям мануально-терапевтических устройств с использованием массажных валиков. Рассматриваются основные принципы работы медицинских кроватей, различные их типы и их применение, а также виды сертификации подобных технологий.
Ключевые слова: массаж, кровать, технология, нефрит, турмалин, сертификация, принцип, структурная схема

Pyzarov[1] I.A., Myrzagaliev[2] M., Ryzhakov[3] K.R., Sharkov[4] V.V., Saprykin[5] D.R.
[1,2,3,4,5] Penza State University, Penza, Russia
[1] kipra@pnzgu.ru

ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF MANUAL THERAPEUTIC DEVICES BASED ON JADE AND TOURMALINE MECHANISMS

Annotation. The article is devoted to the technologies of manual therapeutic devices using massage rollers. The basic principles of operation of medical beds, their various types and their applications, as well as types of certification of such technologies are considered.
Keywords: massage, bed, technology, jade, tourmaline, certification, principle, block diagram.

Введение

В современном мире научно доказано что **массаж** – это эффективный терапевтический метод, представляющий собой совокупность приёмов механического и рефлекторного воздействия на ткани и органы [1-4]. Массаж может осуществляться различными способами и с помощью различных приемов. Массаж обеспечивает непосредственное воздействие на рецепторы, расположенные на поверхности тела, и опосредованное – на более глубокие структуры (мышцы, сосуды, внутренние органы). Одной из ведущих технологий в производстве устройств массажа – использование нефритовых или турмалиновых валиков [5].

Рассматривая данную технологию, ее возможности и преимущества перед другими технологиями, можно смело утверждать о перспективах развития и применения данной технологии в медицинских системах массажа. Она стала популярной в связи специфическими свойствами данных валиков. Нефрит – это метаморфическая горная порода, в состав которой входят следующие минералы: пироксен и амфибол. Он образуется под действием высокого давления и температуры на вулканические породы. Нефрит обладает высокой прочностью, износостойкостью и устойчивостью к воздействию кислот. Он также имеет уникальные физические свойства, такие как способность сохранять тепло и проводить электричество. **Турмалин** – это минерал, который относится к группе алюмосиликатов. Он имеет множество различных цветов и оттенков, которые зависят от содержания различных элементов в его составе. Турмалин обладает пьезоэлектрическими свойствами, то есть может создавать электрическое поле при механическом воздействии на него. Это свойство используется в различных устройствах, таких как датчики вибрации, генераторы ультразвука и другие. Кроме того, турмалин может использоваться в качестве источника ионов лития для литий-ионных аккумуляторов.

Существующие готовые решения

Данная технология активно используется в производстве различных видов медицинских массажных кроватей. Огромное количество производителей представили свои решения с уникальными конструкциями. Все они отличаются по типу управления, материалу валиков, своему функционалу и контсруктивным особенностям [6].

Seragem Master V3

Массажер Master V3 – это одна из первых моделей в мире, которая способна обеспечить оптимальный массаж с прижиганием вдоль всего позвоночника. Благодаря инфракрасному прогреву в разы усиливается эффект от процедуры. С помощью пульта управления можно выбрать нужную программу, а также сделать индивидуальные настройки для разминания той или иной зоны. Данная модель способна работать в 6 режимах интенсивности, изменяя эти режимы, пользователь меняет положение прогрессивной системы движения внутреннего прожектора. То есть в данном случае каретка с роликами способна двигаться не только по горизонтали, но и по вертикали.

Nuga Best NM-5000+

Массажер выделяется тем, что подходит для низкочастотной миостимуляции, мануальной терапии, физиотерапии с использованием инфракрасного излучения и

других методов воздействия на организм. Данная кровать также запитывается от сети 220В. Нефритовые ролики способны двигаться только по горизонтальной оси.

Migun HY 8800

Главной особенностью кровати южнокорейского бренда является наличие функции массажа ног – это первая кровать, оснащена сразу тремя программами воздействия на нижние конечности с помощью давления воздуха. Для массажа верхней части тела предусмотрено 9 программ, которые подразумевают под собой различные температурные режимы для верхней и нижней частей тела, а также комплексного массажа, включая ноги человека. Все настройки можно регулировать с помощью специального пульта. В устройство данной кровати входят 5 роликов для массажа верхней части тела и 5 роликов для нижней части тела. Ролики способны перемещаться только по горизонтальной оси.

Виды сертификации

Виды сертификации массажных кроватей могут различаться в зависимости от страны и законодательства. Некоторые из наиболее распространенных видов сертификации включают в себя [7,8]:

Сертификация безопасности - этот вид сертификации гарантирует, что кровать соответствует всем стандартам безопасности, установленным законодательством.

Сертификация качества - этот вид сертификации подтверждает, что кровать имеет высокое качество и соответствует определенным стандартам.

Сертификация экологической безопасности - этот вид сертификации свидетельствует о том, что кровать не наносит вреда окружающей среде и изготовлена из экологически чистых материалов.

Сертификация медицинских изделий - этот вид сертификации требуется для массажных кроватей, которые используются в медицинских учреждениях.

Сертификация CE - это европейский стандарт, который подтверждает соответствие продукции европейским стандартам безопасности и качества.

FDA-сертификация - это американский стандарт, который свидетельствует о том, что продукт соответствует требованиям безопасности и качества, установленным Управлением по контролю за качеством пищевых продуктов и лекарственных препаратов США (FDA).

ISO-сертификация - этот международный стандарт подтверждает соответствие продукции международным стандартам качества и безопасности.

Важно отметить, что каждая страна может иметь свои собственные стандарты сертификации (рис. 1).



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
(РОСЗДРАВНАДЗОР)

РЕГИСТРАЦИОННОЕ УДОСТОВЕРЕНИЕ
НА МЕДИЦИНСКОЕ ИЗДЕЛИЕ
от 31 августа 2015 года № РЗН 2015/3010

На медицинское изделие
Аппарат терапевтический с использованием длинноволнового инфракрасного излучения CGM MCB-1201 с принадлежностями

Настоящее регистрационное удостоверение выдано
"Сэраджем Ко., Лтд.", Республика Корея,
Ceragem Co., Ltd., 10, Jeongja 1-gil, Seonggeo-eup, Cheonan-si, Seobuk-gu, Chungcheongnam-do, Republic of Korea

Производитель
"Сэраджем Ко., Лтд.", Республика Корея,
Ceragem Co., Ltd., 10, Jeongja 1-gil, Seonggeo-eup, Cheonan-si, Seobuk-gu, Chungcheongnam-do, Republic of Korea

Место производства медицинского изделия
10, Jeongja 1-gil, Seonggeo-eup, Cheonan-si, Seobuk-gu, Chungcheongnam-do, Republic of Korea

Номер регистрационного досье № РД-4713/24891 от 19.08.2014

Вид медицинского изделия -

Класс потенциального риска применения медицинского изделия 2а

Код Общероссийского классификатора продукции для медицинского изделия 94 4430

Настоящее регистрационное удостоверение имеет приложение на 1 листе

приказом Росздравнадзора от 31 августа 2015 года № 6105
допущено к обращению на территории Российской Федерации

Руководитель Федеральной службы
по надзору в сфере здравоохранения М.А. Мурашко

0012276

Рисунок 1 – Пример регистрационного удостоверения на медицинское изделие

Принцип работы массажных кроватей

На примере кровати Nimfa 2005A можно в полной ознакомиться со всеми технологиями, которые могу применяться в производстве кроватей данного типа (рис. 2).



Рисунок 2 – Устройство и функционал кровати Nimfa 2005A

Данная кровать оснащена 4 нефритовыми роликами для работы с нижней частью тела и 5 роликами для верхней части тела. Данные ролики закреплены на «каретке» и приводятся в движение сервоприводом. С его помощью каретка с роликами двигается по установленным рельсам вдоль тела человека под температурой до 70 градусов Цельсия, которая устанавливается на специализированном пульте управления. Кроме этого кроме валиков задействуют нефритовые либо турмалиновые полусферы, которые в свою очередь используются для местного применения, в соответствии с медицинскими показаниями и индивидуальными потребностями человека. В данном проекте эта система представлена 11-ти шариковым проектором. Для того чтобы полностью соблюдать анатомические особенности человеческого тела, в конструкции используется роликовая система адаптации (рис. 3).



Рисунок 3 – Массажный механизм с нефритовыми роликами

Ниже будет представлена общая структурная схема работы подобных кроватей, где реализован большой спект функций, включая звуковое сопровождение и дополнительный прогрев участков тоела с помощью проекторов.

Анализируя рынок готовых решений, мы можем наблюдать тендецию, где производители предлагают абсолютно одинаковые по функционалу изделия, используя в их производстве одинаковые технологии, но при это диапазон цен очень велик и устремляется до полумиллиона рублей. С точки зрения современности систем управления они так же далеки от клиентоориентированности, так как для использования пульта дистанционного управления нужно находиться в непосредственной близости к кровати. Заменив коммуникацию пульта и контроллера с кабеля на Bluetooth модуль, становится возможным добиться комфортного использования кровати без дополнитетельных переходников и кабелей. За счет этого устройство становится

более конкурентноспособным среди остальных конкурентов, так как за те же деньги покупатель получает более современное устройство. С учетом анализа рынка становится возможным составить общая структурную схему (рис. 4).

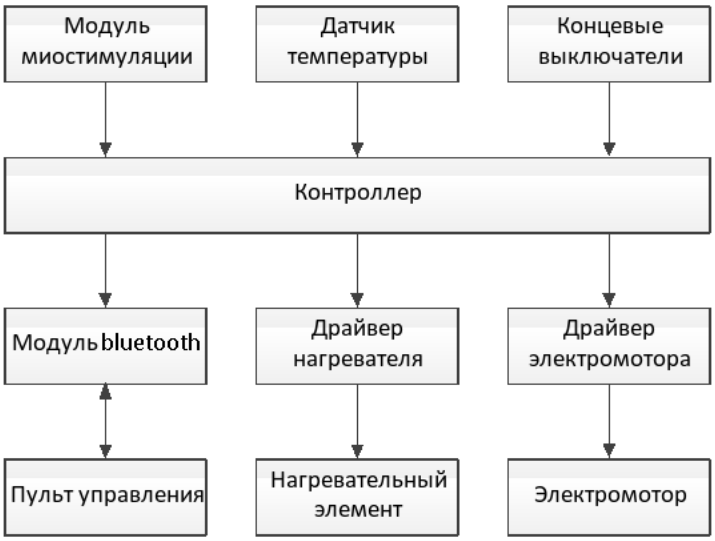


Рисунок 4 – Общая структурная схема

Заключение

В заключение нужно сказать, что медицинские кровати являются эффективным инструментом для профилактики и лечения множества процессов, и в частности, заболеваниях опорно-двигательного аппарата, заболеваниях нервной и сердечно-сосудистой системы, нарушении обмена веществ, проблемах с органами дыхания.

Благодаря своим свойствам и конструкционным особенностям становятся возможными комплексный и максимально точный массаж, отслеживание перемещения валиков и управление ими. Использование нефритовых или турмалиновых валиков в совокупности с другими новейшими технологиями позволяет оптимизировать процессы профилактики, лечения и реабилитации.

В то же время, выбор и внедрение решений для модернизации или создания подобных конструкций требует тщательного анализа и планирования, так как нужно учитывать особенности человеческого тела и пройти необходимы этапы сертификации продукции для обеспечения безопасности потребителя.

Таким образом, при правильном подходе и использовании, применение нефритовых и турмалиновых валиков может стать эффективным элементом в производстве медицинских массажных кроватей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьякова Н.В., Лечебная физическая культура и массаж // Екатеринбург РГППУ, 2013. 357с.

2. Intellectual Method for Reliability Assessment of Radio-Electronic Means / N.K. Yurkov, A.K. Grishko, A.V. Lysenko [et al.] // 2018 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2018, Saratov, 27–28 сентября 2018 года. – Saratov: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. – P. 105-112. – DOI 10.1109/APEDE.2018.8542360. – EDN WUCKOJ.

3. On the problem of experimental research of forced vibrations of plates / N.K. Yurkov, G.V. Tankov, A.V. Lysenko, V.A. Trusov // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016, Saint Petersburg, 25–27 мая 2016 года. – Saint Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. – P. 416-418. – DOI 10.1109/SCM.2016.7519798. – EDN XFNVOX.

4. Методы повышения точности прогнозирования показателей надежности наукоемких сложных электронных систем / Н.К. Юрков, А.В. Затылкин, С.Н. Полесский, И.А. Иванов, А.В. Лысенко // Современные информационные технологии. 2014. № 19. С. 183-187.

5. Сертификация медицинских изделий: учебное пособие / И.С. Разина, Е.В. Приймак; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т.- Казань : Изд-во КНИТУ, 2016. - 121 с.

6. Гольдблат Ю.В. Немедикаментозные методы лечения болевых синдромов / Ю.В.Гольдблат // Нелекарственная медицина. – 2007.-№3.-с.20-25.

7. Ушаков А.А. Современная физиотерапия в клинической практике / А.А.Ушаков.-М.:АНМИ, 2002.-364 с.

8. Intellectual method for reliability assessment of radio-electronic means / Функциональная модель информационной технологии обеспечения надежности сложных электронных систем с учетом внешних воздействий / Н.К. Юрков, А.В. Затылкин, С.Н. Полесский, И.А. Иванов, А.В. Лысенко // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 184-187.

УДК 681.326

Степанников[1] Н.В., Мырзагалиев[2] М., Жаркымбеков[3] Б.С., Истлеуов[4] Н., Шарков[5] В.В., Рыжаков[6] К.Р., Сапрыкин[7] Д.Р.

[1,2,3,4,5,6,7] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

ВИДЫ МОНТАЖА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Аннотация. В данной статье выделяются основные этапы конструирования блоков радиоаппаратуры. Приведены сведения об использовании стандарта VPX и особенностях его применения в разработке. Особое внимание уделяется рассмотрению технологии поверхностного монтажа и монтажу на гибких платах.

Ключевые слова: радиоаппаратура, печатная плата, монтаж, конструирование блоков, VPX, поверхностный монтаж, гибкие платы

Stepannikov[1] N.V., Myrzagaliev[2] M., Zharkymbekov[3] B.S., Istleuov[4] N., Sharkov[5] V.V., Ryzhakov[6] K.R., Saprykin[7] D.R.

[1,2,3,4,5,6,7] Penza State University

[1] kipra@pnzgu.ru

TYPES OF INSTALLATION OF ELECTRONIC EQUIPMENT

Annotation. This article highlights the main stages of the design of radio-electronic equipment units. Information is provided on the use of the VPX standard and the specifics of its application in the development of electronic devices. Special attention is paid to the consideration of surface mounting technology and installation on flexible boards.

Keywords: electronic equipment, printed circuit board, installation, design of electronic equipment units, VPX, surface mounting, flexible boards

Конструирование радиоаппаратуры считается сложным и увлекательным процессом, требующим знания и глубокое понимания основ радиоэлектроники [1-4]. Радиоаппаратура – это устройства, позволяющие передавать и принимать радиосигналы. Наиболее распространенные примеры радиоаппаратуры — радиостанции, радиоприемники, передатчики и другие [5-7].

Начало процесса конструирования сопровождается определением цели и требований к устройству. Например, при создании радиоприемника определяется диапазон частот, чувствительность, селективность и иные параметры [8].

Затем следует выбрать компонентную базу, которая будет использоваться в устройстве. Это могут быть различные электронные компоненты, такие как конденсаторы, резисторы, индуктивности, транзисторы и микросхемы. Компоненты следует выбирать с учетом требований конкретного проекта [9-12].

После этого происходит разработка электрической схемы. Схема электрическая — документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие при помощи электрической энергии, и их взаимосвязи. В процессе проектирования необходимо учитывать различные факторы, такие как электрические характеристики компонентов, схемотехнические правила и требования к устройству.

Затем происходит создание печатной платы. Печатная плата – это основа, на которой монтируются компоненты и проводники (зачастую медные дорожки). Печатная плата может быть односторонней, двусторонней, многослойной, гибкой и т.д., в зависимости от конфигурации устройства.

Затем происходит сборка и монтаж устройства. Компоненты паяются на печатную плату, происходит их физическое соединение между собой, зачастую рисунком печатной платы. Важно следить за правильностью монтажа и качеством пайки, чтобы устройство работало стабильно и безопасно.

После сборки и монтажа проводится тестирование устройства. Тестирование позволяет убедиться в правильности работы устройства. В случае выявления ошибок или несоответствий техническим требованиям, производятся корректировка и доработка.

Конструирование радиоаппаратуры требует знания и опыта в области радиоэлектроники, а также владения специальными программами и инструментами для проектирования и тестирования. Однако, современные технологии позволяют упростить процесс конструирования и создания радиоаппаратуры, делая его доступным для широкого круга людей.

Конструирование и технология РЭС (радиоэлектронной системы) специального назначения с использованием стандарта *VPX (VITA 46)* включает в себя проектирование и разработку высокопроизводительных компьютерных платформ для применения в области обороны, авиации, космической промышленности и других отраслях, требующих надежной и мощной электроники.

Стандарт *VPX* определяет аппаратные интерфейсы и механические форм-факторы для модульной архитектуры компьютерных систем. Он основан на технологии шины *PCI*

Express и предоставляет высокую пропускную способность данных и низкую задержку передачи. Это позволяет использовать *VPX* для обработки больших объемов информации в режиме реального времени.

При конструировании РЭС специального назначения с использованием стандарта *VPX* необходимо учитывать следующие аспекты:

1. Выбор модулей. *VPX* поддерживает различные типы модулей, такие как CPU-модули, модули памяти, модули ввода-вывода и другие. Необходимо выбрать модули, соответствующие требованиям конкретного приложения.

2. Механическое проектирование. *VPX* определяет форм-факторы и механические стандарты для модулей и шасси. Важно учесть эти стандарты при проектировании корпуса и размещении модулей внутри него.

3. Электрическое подключение. *VPX* использует различные типы разъемов для передачи данных и питания между модулями и шасси. Необходимо правильно подключить все модули и обеспечить надежное электрическое соединение.

4. Охлаждение. РЭС специального назначения обычно требуют эффективной системы охлаждения, чтобы предотвратить перегрев компонентов. При проектировании РЭС с использованием *VPX* необходимо учесть требования по охлаждению и предусмотреть соответствующие системы.

5. Тестирование и верификация. После завершения конструирования РЭС необходимо провести тестирование и верификацию, чтобы убедиться в правильной работе системы и соответствии требованиям специального назначения.

Гибкий монтаж РЭС (гибкие печатные платы) является одним из способов монтажа компонентов на печатные платы. Он отличается от обычного монтажа на жесткие печатные платы тем, что использует гибкие материалы, такие как полиимид, вместо жестких материалов.

Процесс гибкого монтажа включает следующие шаги:

1. Подготовка гибкой печатной платы. Гибкая печатная плата должна быть чистой и готовой для монтажа компонентов. Это включает удаление остатков флюса и других загрязнений, а также проверку целостности проводников.

2. Размещение компонентов. Компоненты размещаются на гибкой печатной плате в соответствии с дизайном схемы. Это может быть выполнено вручную или автоматически с помощью специального оборудования.

3. Пайка компонентов. После размещения компонентов на гибкой печатной плате происходит процесс пайки. Обычно это делается в специальной печи, где паяльная паста нагревается до определенной температуры, чтобы осуществить соединение компонентов с проводниками на гибкой печатной плате.

4. Очистка и проверка. После пайки гибкая печатная плата должна быть очищена от остатков флюса и других загрязнений. Затем производится проверка качества монтажа, включая проверку соединений и функциональность РЭС.

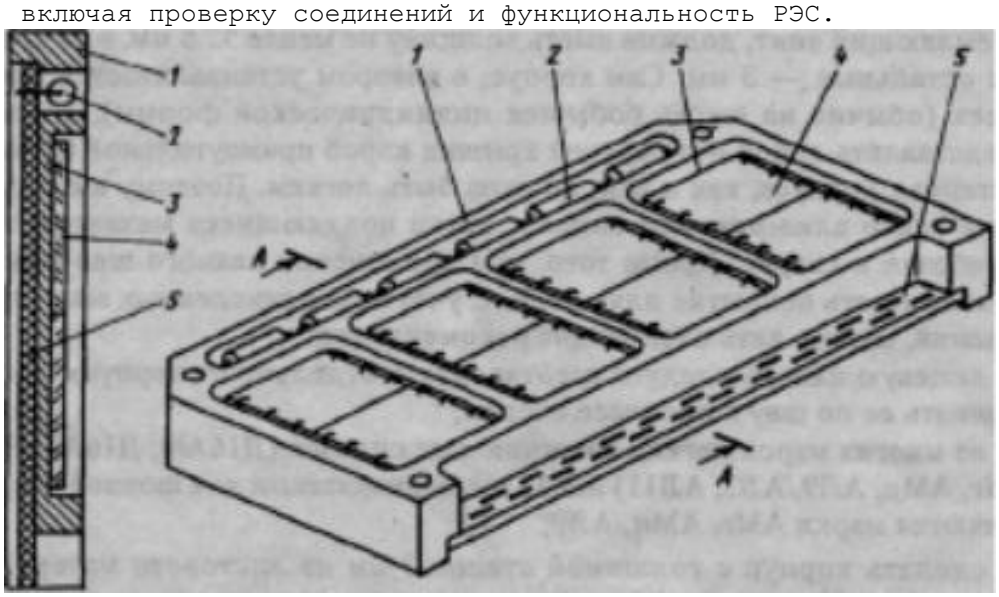


Рисунок 1 - Конструкция односторонней ФЯ (функциональная ячейка) на металлической рамке: *1* — рамка; 2 — навесной ЭРЭ; *3* — планка; *4* — микросборка; 5 — печатная плата

Гибкий монтаж РЭС находит широкое применение в наиболее ответственных областях промышленности. Военные системы и устройства часто требуют компактного и надежного монтажа, который может выдерживать экстремальные условия работы, а также являться -вибро, -ударо и -темпермо устойчивым.

Кроме того, гибкий монтаж РЭС позволяет создавать устройства с высокой степенью интеграции, что способствует улучшению производительности и функциональности систем. Это позволяет создавать более эффективные устройства, которые могут быть легко интегрированы в различные системы и обеспечивать высокую степень взаимодействия и взаимозаменяемости.

В целом, гибкий монтаж РЭС играет важную роль в проектировании современных устройств. Он позволяет создавать высокоэффективные и компактные РЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров А.С. Основы проектирования РЭС. // 2011, 200 с.
2. Сускин В.В. Основы технологий поверхностного монтажа. // Книга, Рязань. 2001, - 160с.
3. Intellectual Method for Reliability Assessment of Radio-Electronic Means / N.K. Yurkov, A.K. Grishko, A.V. Lysenko [et al.] // 2018 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2018, Saratov, 27–28 сентября 2018 года. – Saratov: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. – P. 105-112. – DOI 10.1109/APEDE.2018.8542360. – EDN WUCKOJ.
4. Структурное описание размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Г.Ж. Надырбеков, А.В. Григорьев, И.И. Кочегаров, А.В. Лысенко, Н.А. Стрельцов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т. 2. С. 11-13.
5. On the problem of experimental research of forced vibrations of plates / N.K. Yurkov, G.V. Tankov, A.V. Lysenko, V.A. Trusov // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016, Saint Petersburg, 25–27 мая 2016 года. – Saint Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. – P. 416-418. – DOI 10.1109/SCM.2016.7519798. – EDN XFNVOX.
6. Методы повышения точности прогнозирования показателей надежности наукоемких сложных электронных систем / Н.К. Юрков, А.В. Затылкин, С.Н. Полесский, И.А. Иванов, А.В. Лысенко // Современные информационные технологии. 2014. № 19. С. 183-187.
7. Лысенко, А.В. Конструкция и методика расчета гибридного виброамортизатора с электромагнитной компенсацией / А.В. Лысенко, А.В. Затылкин, Н.А. Ястребова // Вестник Пензенского государственного университета. 2013. № 4. С. 73-78.
8. Лысенко, А.В. Анализ современных методов вибрационной защиты радиоэлектронной аппаратуры / А.В. Лысенко, Г.В. Таньков, Д.А. Рындин // Современные информационные технологии. 2014. № 19. С. 135-142.
9. Лысенко, А.В. Алгоритм формирования сигналов обратной связи для информационно-измерительной системы управления активной виброзащитой РЭУ / А.В. Лысенко, Г.В. Таньков, Т.А. Шаркунова // Надежность и качество сложных систем. 2014. № 3 (7). С. 50-56.
10. Функциональная модель информационной технологии обеспечения надежности сложных электронных систем с учетом внешних воздействий / Н.К. Юрков, А.В. Затылкин, С.Н. Полесский, И.А. Иванов, А.В. Лысенко // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 184-187.
11. Determination of Electromagnetic Field Strength Taking into Account the Influence of Reflections / A.K. Grishko, I.I. Kochegarov, A.V. Lysenko [et al.] // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2020 - Proceedings, Moscow, 11–13 марта 2020 года. – Moscow, 2020. – P. 9067494. – DOI 10.1109/MWENT47943.2020.9067494. – EDN AYBROC.
12. Yurkov, N.K. Methods of Providing Reliability of Avionics and Aerospace Equipment at the Design Stage / N.K. Yurkov, V.A. Trusov, A.V. Lysenko // 13th international scientifictechnical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE - 2016) : Proceedings: in 12 volumes, Novosibirsk, 03–06 октября 2016 года. Vol. Volume 1, Part 2. – Novosibirsk: Новосибирский государственный технический университет, 2016. – P. 123-127. – DOI 10.1109/APEIE.2016.7806427. – EDN WZWMUD.

УДК 67.05

Абразумов[1] В.В., Фролов[2] С.В., Прохоров[3] В.Ю., Токарева[4] О.В.

[1,2,3,4] Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

[1] vabrazumov@mail.ru

[2] s_v_frolov@mail.ru

[3] prohorovv@yandex.ru

[4] oliatok@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЦЕМЕНТНОЙ ОСНОВЕ

Аннотация. В статье представлен численный анализ распределения тепловых потоков и температуры на контактных площадках режущего клина при фрезеровании древесных композиционных материалов на минеральном вяжущем цементе(цементно-стружечных плит). Получены графические зависимости распределения температуры и тепловых потоков на передней и задней поверхностях инструмента, изготовленного из различных инструментальных материалов.

Ключевые слова: цементно-стружечная плита, фрезерование, режущий клин, задняя поверхность, тепловой поток

Abrazumov[1] V.V., Frolov[2] S.V., Prokhorov[3] V.Yu., Tokareva[4] O.V.

[1,2,3,4] Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

[1]vabrazumov@mail.ru

[2] s_v_frolov@mail.ru

[3] prohorovv@yandex.ru

[4] oliatok@mail.ru

INFLUENCE OF THERMAL CONDUCTIVITY OF TOOL MATERIAL ON THERMAL PHENOMENA DURING CUTTING OF WOOD COMPOSITE MATERIALS ON CEMENT BASE

Annotation. The article presents a numerical analysis of the distribution of heat fluxes and temperature at the contact pads of the cutting wedge during milling of wood composite materials on mineral binder cement (cement chipboard). Graphical dependences of the distribution of temperature and heat fluxes on the front and back surfaces of the tool made of various tool materials are obtained.

Keywords: cement chip board, milling, cutting wedge, back surface, heat flow

Введение

Плитные древесные композиционные материалы во многих случаях могут успешно заменить изделия из цельной древесины и поэтому нашли широкое применение в строительстве и мебельном производстве. Достоинством их является возможность получения большого ассортимента материалов с разными физико-механическими и потребительскими свойствами и, не менее важным, возможность использования низкокачественной древесины [1, 2].

В древесных композитах в качестве матрицы используются полимерные или минеральные вяжущие. В качестве минеральных вяжущих широкое применение нашли клинкерные цементы и гипс.

Древесные композиционные материалы на цементной основе изготавливаются в виде плит методом плоского формования. Цементно-стружечные плиты (ЦСП) принадлежат к ряду инновационных композиционных материалов и обладают рядом достоинств, главными из которых являются экологическая безопасность, высокие влагостойкость и стойкость к воспламенению [3]. Поэтому они нашли широкое применение в строительстве для возведения стен и перегородок, устройства перекрытий, вентиляционных коробов во влажных помещениях и т.д.

Цементно-стружечные плиты также применяются для изготовления элементов интерьера, что требует чистовой механической обработки заготовок методами цилиндрического и концевого фрезерования.

Для получения качественной обработанной поверхности цементно-стружечных плит применяется режущий инструмент, изготовленный из твердых сплавов, потому что большое содержание цементной составляющей, обладающей высокими абразивными свойствами, вызывает интенсивный износ режущего лезвия [4].

Целью работы является изучение тепловых явлений на контактных площадках резца при цилиндрическом фрезеровании кромки цементно-стружечной плиты.

Основная часть

Как известно, при обработке материалов резанием практически вся механическая работа, затрачиваемая на процесс резания, превращается в тепловую энергию.

Источниками образования теплоты являются: упругопластическая деформация материала заготовки в зоне стружкообразования ($Q_д$), трение стружки о переднюю поверхность резца ($Q_{тп}$), трения задних поверхностей инструмента о поверхность резания и обработанную поверхность заготовки ($Q_{тз}$). Основной сток тепла

происходит в режущий инструмент ($Q_р$), заготовку ($Q_з$) и стружку ($Q_с$) (рис. 1) [5]. Конвективный теплообмен и лучеиспускание исключительно малы и в расчетах ими можно пренебречь.

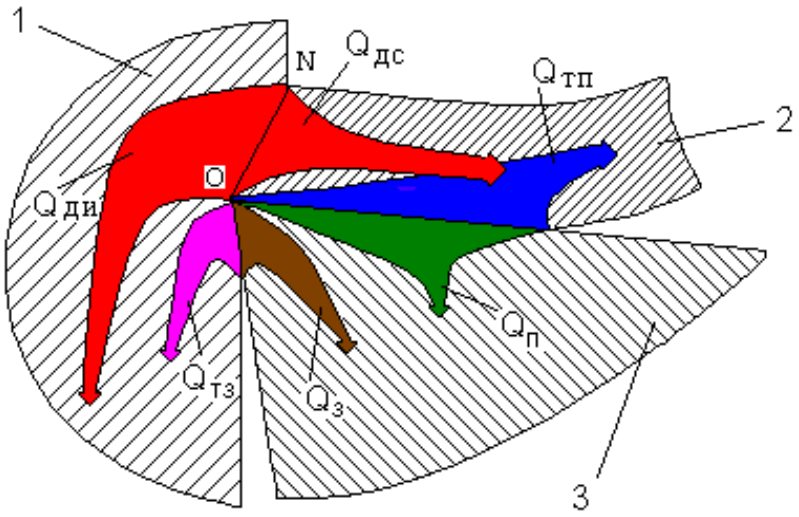


Рисунок 1 - Распределение теплоты между объектами резания:
1 - заготовка, 2 - стружка, 3 - инструмент

Используя систему уравнений теплового баланса, предложенной в работе [5], можно определить законы распределения тепловых потоков в изделии, стружке и режущем инструменте, а также температуры на контактных площадках лезвия режущего клина.

$$\left.\begin{aligned} Q &= Q_c + Q_и + Q_p = P_z \cdot v; \\ Q_c &= b^* \cdot Q_д + Q_{тп} - Q_п; \\ Q_и &= (1 - b^*) \cdot Q_д + Q_{тз} - Q_з; \\ Q_p &= Q_п + Q_з; \end{aligned}\right\}$$

Коэффициент b^* определяет долю теплоты, переходящей из зоны деформации в стружку.

В работе [6] на основе этой системы уравнения получены аналитические зависимости, позволяющие расчитать распределения плотности тепловых потоков и температуры на контактных поверхностях режущего инструмента при обработке цементно-стружечных плит.

Распределение общего количества теплоты между стружкой, режущим инструментом и изделием при прочих равных условиях определяется теплофизическими характеристиками обрабатываемого материала и материала режущего инструмента.

Известно, что при обработке резанием металлов основная доля образовавшегося тепла распределяется между стружкой (25…80 %) и заготовкой (10…50 %) [7]. Только 2…8 % тепла направляется в резец.

Главная особенность резания неметаллических материалов, обладающих низкой по сравнению с металлами теплопроводностью, заключается в перераспределении тепловых потоков в область режущего инструмента, так как их теплопроводность на два порядка ниже теплопроводности инструментальных материалов. В режущий инструмент уходит значительная доля общего количества теплоты, образующейся в процессе снятия стружки. В связи с этим теплопроводность материала режущего инструмента, определяющая отвод тепла из зоны резания может оказывать существенное влияние на характер распределения тепловых потоков на его передней и задней контактных поверхностях, следовательно, и на распределение температур на этих поверхностях.

В настоящей работе представлен численный анализ влияния теплопроводности материала режущего инструмента на распределение тепловых потоков и температуры на его контактных поверхностях при обработке ЦСП (коэффициент теплопроводности λ = 0,26 Вт/(м·К), коэффициент температуропроводности ω = 1,553 м²/с) [8].

Расчетная часть

В качестве инструментальных материалов использовались быстрорежущая сталь марки Р18 (λ = 34,7 Вт/(м·К)), твёрдый сплав ВК8 (λ = 54,4 Вт/(м·К)) и алмаз (λ = 146,4 Вт/(м·К)). Из приведенных теплофизических характеристик следует, что теплопроводность алмаза почти в три раза выше твердого сплава ВК8 и более чем в четыре раза выше, чем у стали Р18. Режущие инструменты изготавливаются из

стали Р18 цельными. Твёрдые сплавы и алмазы использовались в виде пластинок, которые крепятся к державке пайкой или механически. Численные расчеты позволяют определить требования к теплопроводности материала державки.

Расчёты проводились для обработки кромки цементно-стружечной плиты методом цилиндрического фрезерования (рис. 2).

Режимы резания – подача, скорость и глубина резания принимались одинаковыми для всех исследуемых материалов. Угол контакта срезаемого слоя с зубом фрезы составил 17,5°. При расчете угол контакта разбивался на четыре диапазона (μ_0 = 2,5°, μ_1= 7,5°, μ_2 = 12,5°, μ_3 = 17,5°), а длина контактных поверхностей (передней $l_п$ и задней $l_з$) на десять равных частей. На каждом диапазоне угла контакта рассчитывались поверхностная плотность теплового потока и температура. По результатам расчетов строились графические зависимости распределения температуры и плотности теплового потока в зависимости от угла поворота зуба фрезы. Результаты численных расчетов представлены на рисунках 3, 4.

При резании древесных композитов в результате упругопластической деформации материала в зоне резания образуется стружка в виде рыхлой массы, которая создает на передней поверхности невысокие давления и, как следствие, низкий тепловой поток на поверхности контакта. Теплопроводность материала режущего инструмента практически не оказывает влияния на температуру передней контактной поверхности.

На задней поверхности резца, контактирующей с плотной поверхностью заготовки, возникают высокие удельные нагрузки и сила трения, которая создает интенсивный нагрев контактной поверхности. Кроме того, негидратированные частицы цементного клинкера, обладающие твердостью, соизмеримой с твердостью инструментального материала, на контактной площадке создают так называемые «температурные вспышки», которые вызывают локальный нагрев поверхностных слоев резца. За счет высокого трения отдельные абразивные частицы могут вызывать даже явление микрорезания, следствием которого является интенсивный износ задней поверхности с образованием на ней фаски износа.

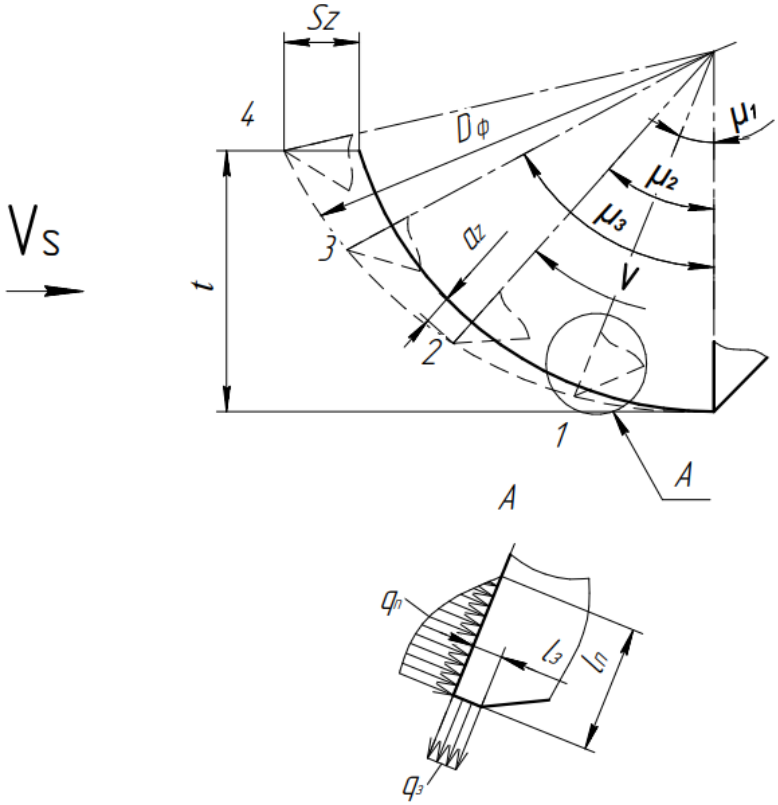


Рисунок 2 - Схема цилиндрического фрезерования

Образующийся тепловой поток направляется в поверхностные слои инструментального материала и вызывает их нагрев. Температура нагрева зависит от величины фаски износа по задней поверхности и, что очень важно, от теплопроводности инструментального материала.

Как следует из рисунка 3, при резании инструментом из твердого сплава ВК8 уровень температуры на задней контактной поверхности снижается в 2,5 раза, а из алмаза в 9 раз по сравнению с инструментом из стали Р18. Изменяется также и характер распределения температур на этой поверхности.

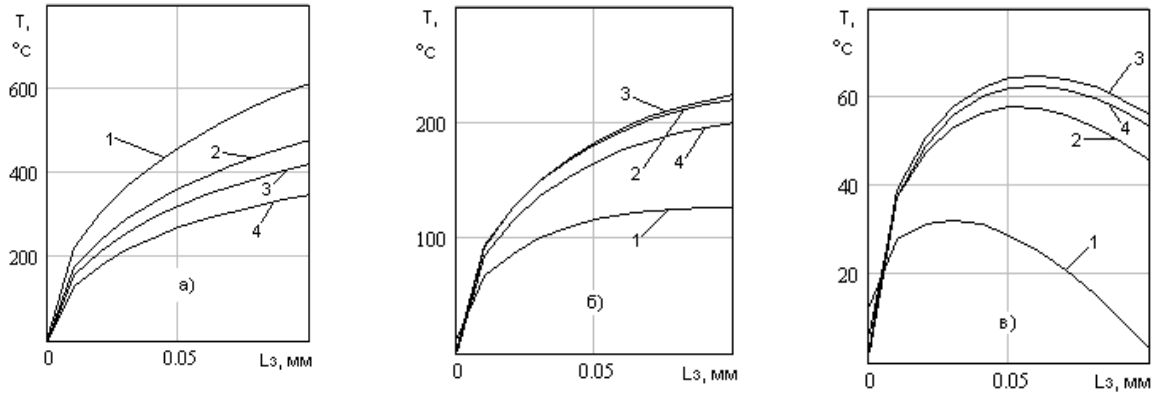


Рисунок – 3. Распределение температуры на задней контактной поверхности режущего инструмента 1 – μ_0; 2 – μ_1; 3 – μ_2; 4 – μ_3.
Материал режущего инструмента: а) Р18; б) ВК8; в) алмаз

Характер распределения тепловых потоков на контактных площадках резца представлен на рисунке 4.

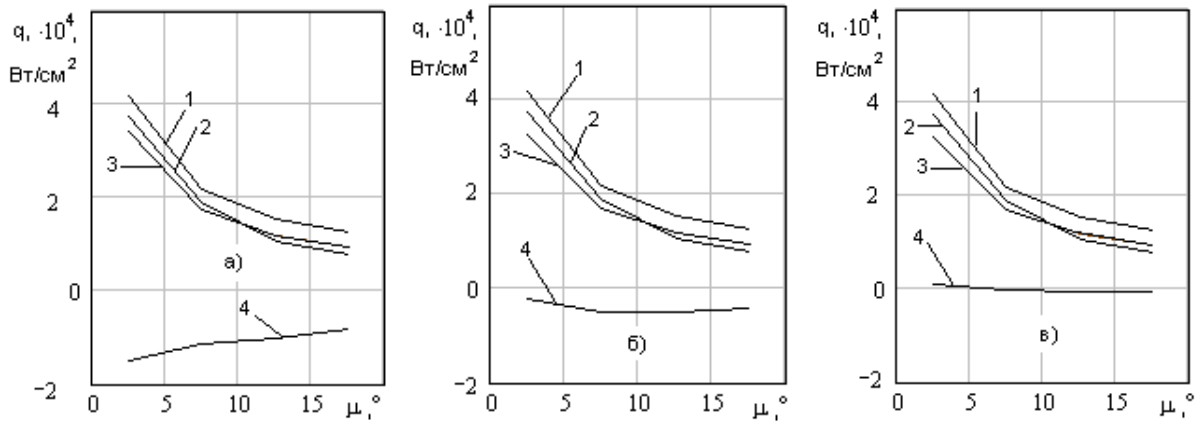


Рисунок – 4. Распределение тепловых потоков на контактных поверхностях режущего инструмента
1 – от сил трения на передней контактной поверхности; 2 – от пластической деформации в зоне стружкообразования; 3, 4 – итоговые тепловые потоки соответственно на передней и задней контактных поверхностях.
Материал режущего инструмента: а) Р18; б) ВК8; в) алмаз

Заключение

1. Результаты численных расчетов показали, что увеличение теплопроводности материала режущего инструмента приводит к существенному снижению температуры на его задней контактной поверхности.

2. При использовании режущих пластин из твердых сплавов или алмазов эффективный отвод теплоты из зоны резания будет обеспечиваться при условии высокой теплопроводности материала державки, к которой они крепятся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спирин Б.Л., Грабарев С.П., Попов С.С., Прохоров В.Ю. Сравнение надежности изделий из термически обработанной древесины и древесных материалов при повышенных температурах, по отношению к обычной древесине. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 2. С. 13 - 15.

2. Спирин Б.Л., Прохоров В.Ю., Фролов С.В., Абразумов В.В. Оценка прочности древесных материалов при повышенных температурах. Фундаментальные основы механики: Материалы VII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: НИЦ МС. 2022. № 10. С. 109-111.

3. Мельникова Л.В. Технология композиционных материалов из древесины Учебник. М.: МГУЛ, 1999. 226 с.

4. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов: Учебное пособие для вузов / В.И. Любченко. М.: Лесная промышленность. 1986. 296 с.

5. Резников А.В. Теплофизика резания. М. «Машиностроение». 1969. 288с.

6. Абразумов В.В., Котенко В.Д. Моделирование процесса резания древесных композитов на минеральных вяжущих. Лесной вестник. №6 (42). МГУЛ. 2005. С. 58 - 62.

7. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. М. «Машиностроение». 1975. 440 с.

8. ГОСТ 26816-2016. Плиты цементно-стружечные. Технические условия.

УДК 67.05

Абразумов[1] В.В., Фролов[2] С.В., Токарева[3] О.В., Прохоров[4] В.Ю.

[1,2,3,4] Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

[1] vabrazumov@mail.ru

[2] s_v_frolov@mail.ru

[3] prohorovv@yandex.ru

[4] oliatok@mail.ru

К ВОПРОСУ О СТОЙКОСТИ АЛМАЗНЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ ПРИ РЕЗАНИИ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты исследования режущих свойств цилиндрической алмазной концевой фрезы.

Ключевые слова: цилиндрические алмазные концевые фрезы, поликристаллический алмаз, механизм изнашивания контактных поверхностей

Abrazumov[1] V.V., Frolov[2] S.V., Tokareva[3] O.V., Prokhorov[4] V.Yu.

[1,2,3,4] Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

[1] vabrazumov@mail.ru

[2] s_v_frolov@mail.ru

[3] prohorovv@yandex.ru

[4] oliatok@mail.ru

INFLUENCE OF THERMAL CONDUCTIVITY OF TOOL MATERIAL ON THERMAL PHENOMENA DURING CUTTING OF WOOD COMPOSITE MATERIALS ON CEMENT BASE

Annotation. This paper presents the results of a study of the cutting properties of a cylindrical diamond end mill.

Keywords: cylindrical diamond end mills, polycrystalline diamond, wear mechanism of contact surfaces

Введение

В качестве режущего инструмента для обработки изделий (в том числе и облицованных) из твердой древесины, плитных материалов (МДФ, ХДФ, фанеры и ДсТП и т.п.) используются твердосплавные фрезы различного вида, профиля и диаметра [1].

В мебельной промышленности и столярном производстве в настоящее время нашли самое широкое применение ламинированные древесностружечные плиты (ЛДСтП) и древесноволокнистые плиты средней плотности, известные под аббревиатурой МДФ. Основной операцией в мебельном производстве является обработка кромки плиты, которая может выполняться двумя видами фрез: цилиндрическими насадными и концевыми. Цилиндрические фрезы применяются для обработки прямолинейной кромки плиты на форматно-обрезных, кромкооблицовочных станках и автоматических линиях, а концевые фрезы на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах [2,3].

В настоящее время наибольшее применение нашли твердосплавные концевые фрезы, но в условиях высокоскоростного резания, характерного для обрабатывающих центров, они не могут в полной мере обеспечить качество обработки, которое оценивается величиной сколов на кромочной пластине плиты. Поэтому они требуют частой смены инструмента и останова дорогостоящего оборудования, что приводит к снижению производительности труда.

Для высокопроизводительной обработки древесных композиционных материалов был создан новый инструментальный материал – поликристаллические алмазы (ПКА). Он представляет собой двухслойную пластину, состоящую из твердосплавной подложки толщиной 0,8...2,5 мм и синтезированного на ее поверхности алмазного слоя толщиной 0,4...0,6 мм. В качестве связующего компонента для алмазных зерен используется вольфрамо-кобальтовый сплав, который выполняет функцию металлофазы.

Характеристика концевых фрез. В настоящее время западными производителями разработана целая линейка концевых фрез для обработки мягких и твердых пород древесины, древесных композиционных материалов (древесно-стружечных и ламинированных плит, древесно-волокнистых плит – МДФ, фанеры), а также полимерных композиционных материалов и металлических сплавов. Для обработки резанием натуральной древесины применяются цельные концевые фрезы из легированных сталей, чаще всего быстрорежущей стали, составные, оснащенные твердосплавными пластинками, и сборные с механическим креплением режущих пластин.

Обработка древесных композитов, особенностью которых является наличие в их составе абразивосодержащей составляющей, требует применения износостойких инструментальных материалов, прежде всего твердых сплавов вольфрамо-кобальтовой группы, номенклатура которых непрерывно расширяется. Она связана с разработкой твердых сплавов с ультрадисперсной структурой, которая позволяет существенно повысить прочностные характеристики и износостойкость инструмента. Фрезы с прямолинейной и криволинейной режущими лезвиями выполняются в трех вариантах:

- монолитные малого диаметра (до 12 мм), получаемые методом объемного шлифования монолитного прутка;
- составные с напаянными пластинами;
- сборные со сменными пластинами, закрепляемыми на корпусе фрезы механическим путем.

Высокопроизводительные способы обработки на станках с ЧПУ, автоматических линиях и обрабатывающих центрах требуют высокой остроты режущей кромки, ее формоустойчивости и стойкости инструмента.

Наибольшее применение нашли алмазные фрезы с напаянными двухслойными пластинами с поликристаллическими алмазами (ПКА).

Особенностью этого инструментального материала является сочетание высокой твердости поликристаллического алмазного слоя и ударной прочности режущей пластины.

ПКА из-за своей поликристаллической структуры значительно лучше сопротивляются ударным нагрузкам, чем монокристаллы природного алмаза. Они обладают меньшей твердостью по сравнению с монокристаллами, но имеют более высокие значения пределов прочности на растяжение и на поперечный сдвиг.

Алмазные фрезы выпускаются в двух модификациях: неперетачиваемые (одноразовые) и перетачиваемые (многоразовые), заточка которых производится на специализированных станках до 3…5 раз.

Существенным фактором, ограничивающем применение алмазных фрез, является их высокая стоимость по сравнению с твердосплавными, а также высокая стоимость перетачиваемых по сравнению с неперетачиваемыми.

Преимущества инструментальных ПКА связаны с произвольной ориентацией кристаллов в рабочем слое режущих пластин, которая обеспечивает высокую однородность по твердости и стойкость к истиранию во всех направлениях. У синтетического алмаза в виде поликристалла возникающие трещины тормозятся и останавливаются границами кристаллов, что и определяет их более высокую (в среднем в 1,5...2,5 раза) износостойкость.

Алмазные цилиндрические концевые фрезы имеют различную конструкцию режущей части. Для обеспечения высокого качества обработки кромок верхней и нижней пластины обрабатываемой детали режущие алмазные пластины в большинстве случаев располагаются ассиметрично под углом к оси или по спирали. Концевые фрезы диаметром 10...25 мм и рабочей длиной 22...53 мм имеют число зубьев до трех. Частота вращения шпинделя 18000...24000 мин$^{-1}$, скорость подачи от 5 до 30 м/мин в зависимости от обрабатываемого материала и конструкции режущей части фрезы [4]. Физико-механические свойства поликристаллического алмаза существенно отличаются от свойств других инструментальных материалов (см. табл.).

Физико-механические свойства инструментальных материалов Таблица

№ п/п	Свойства материалов	Быстрорежущая сталь	Твердый сплав ВК10	Поликристал-лический алмаз СТС 002	Монокристаллы алмаза
1	Вязкость разрушения, МПа	20,0	10,84	8,81	3,40
2	Твердость по Кнупу, ГПа	7	17	50	57...104
3	Модуль упругости, ГПа	207	593	773	1141
4	Коэффициент теплового расширения, $10^{-6}\cdot К^{-1}$	11	5,4	4,2	1,5...4,8
5	Теплопроводность, Вт/(м·К)	21	100	560	500...2000

Экспериментальная часть. На операции обгонки кромки ламинированной древесностружечной плиты исследованы режущие свойства цилиндрической алмазной концевой фрезы диаметром 20 мм и рабочей длиной 43 мм на следующих режимах: частота вращения шпинделя 18000 мин$^{-1}$, скорость подачи – 8 м/мин. Алмазный материал – синдит СТС 002. Путь резания до переточки составил 9000 погонных метров.

Микроструктурные исследования контактных поверхностей режущих зубьев выполнены на растровом электронном микроскопе (РЭМ) модели VEGA TS 5136LM (США) с разрешением 3,0 нм в режиме высокого вакуума и 3,5 нм в режиме низкого вакуума. Износ режущей кромки зубьев фрезы происходил по длине рабочей части неравномерно с формированием фаски износа на задней поверхности. На поверхности режущей кромки наблюдались микровыкрашивания.

На начальном этапе пути резания износ режущих пластин происходил по задней и передней поверхностям почти с одинаковой интенсивностью. В его основе лежит механизм, связанный с микроразрушениями режущей кромки, вызванный недостаточной хрупкой прочностью острозаточенного лезвия [5]. Как известно, одним из существенных достоинств алмазного инструмента является возможность получения при заточке малого радиуса округления режущей кромки, что позволяет обеспечить высокое качество и точность обработанной поверхности, и не менее важным – сохранять остроту лезвия на протяжении длительного периода резания. Формоустойчивость режущей кромки достигается не только за счет исключительно высокой твердости алмазных зерен, хорошо противостоящих механическому истиранию в условиях абразивного износа, но и не менее важным – высокой теплопроводности, которая обеспечивает интенсивный отвод тепла в тело резца и снижает теплонапряженность режущей части.

В основе механизма изнашивания лежит механическое диспергирование менее твердой и износостойкой металлофазы. Алмазные зерна, имея неправильную разветвленную форму (рис. 1) и достаточно прочно удерживаясь связкой, обладают высокой сопротивляемостью механическому диспергированию и истиранию.

В межфазном слое происходит накопление дефектов, приводящих к формированию хрупкого механизма разрушения и образованию трещин. Образование трещин вызвано различием коэффициентов термического расширения алмазных кристаллитов и металлофазы и окислением меж- и внутрикристаллитных включений.

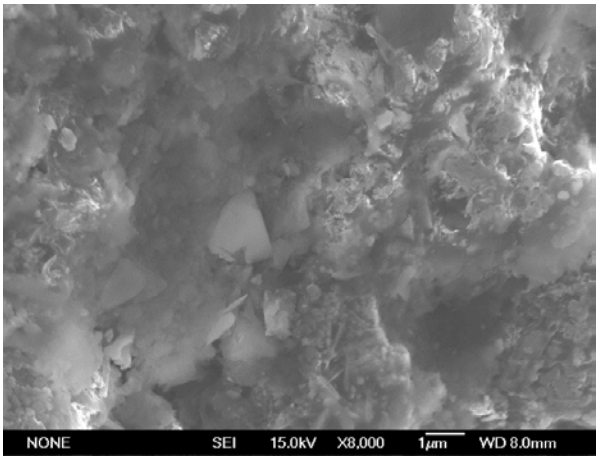
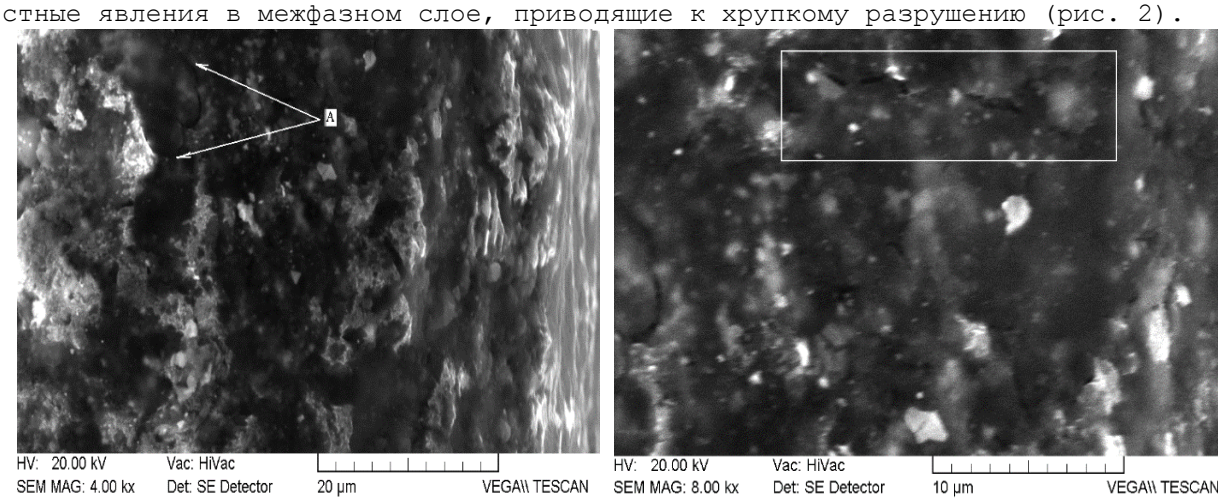


Рисунок 1 - SEM-изображение алмазного зерна
ПКА СТС002, 8000 ˣ

Основное влияние на эти процессы оказывают тепловые явления в микроконтактной области резания, которые вызывают циклические термические напряжения и усталостные явления в межфазном слое, приводящие к хрупкому разрушению (рис. 2).



а *б*

Рисунок – 2. Микротрещины на межфазных границах ПКА:
а –4000 ˣ; *б* – 8000 ˣ

Заключение

На основании результатов исследований износостойкости поликристаллических алмазов при резании ламинированных древесностружечных плит можно сделать следующие выводы:

1. В основе механизма изнашивания контактных поверхностей резцов инструмента лежит механическое диспергирование металлофазы и хрупкое разрушение по межфазному слою.

2. Для исключения аварийного хрупкого разрушения лезвия инструмента должны предъявляться более высокие требования к жесткости системы шпиндель станка-инструмент-деталь.

3. Стойкость концевых фрез, оснащенных поликристаллическими алмазами, превышает твердосплавный инструмент в 5...6 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструктивные особенности, классификация, плюсы и минусы алмазных фуговальных фрез [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://dzen.ru/a/ZQRqUTbJN3mwijca (дата обращения 20.04.2024)

2. Спирин Б.Л., Грабарев С.П., Попов С.С., Прохоров В.Ю. Сравнение надежности изделий из термически обработанной древесины и древесных материалов при повышенных температурах, по отношению к обычной древесине. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 2. С. 13 - 15.

3. Спирин Б.Л., Прохоров В.Ю., Фролов С.В., Абразумов В.В. Оценка прочности древесных материалов при повышенных температурах. Фундаментальные основы механики: Материалы VII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: НИЦ МС. 2022. № 10. С. 109-111.

4. Суханов В.Г. Кишенков В.В. Резание древесины и дереворежущий инструмент. М, ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. 168 с.

5. Абразумов В.В., Котенко В.Д. Износостойкость инструмента при резании древесных композитов: монография. М.: ГОУ ВПО МГУЛ. 2009. 170 с.

УДК 658.512.22:534.539.3

Аминев[1] Д.А., Шувалова[2] А.А., Глухов[3] С.А., Терентьев[4] Д.С.

[1,2,3,4] Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

[1] aminev.d.a@ya.ru

[2] shuvalova998@gmail.com

[3] stepa.gl@yandex.ru

[4] terentev.touchtechn@gmail.com

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОЛНОВЫМИ ПОЛЯМИ НА ОСНОВЕ УСИЛИТЕЛЯ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ВЫХОДНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕНСОРНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ

Аннотация. В работе рассмотрена система активного управления волновыми полями на примере снижения влияния акустического шума на качество акустических сенсорных экранов. В качестве компенсатора применен акустический излучатель с шунтирующим сопротивлением. Подробно проанализированы способы реализации встраиваемых в сенсорные панели акустических компенсаторов. Кратко рассмотрена конструкция системы активного снижения акустического шума с отрицательным выходным сопротивлением. Разработаны модели акустических излучателей и даны оценки их характеристик поглощения в одномерном волноводе.

Ключевые слова: акустические сенсорные экраны, шум, вибрации, защита, подавление, активное управление звуком, акустический импеданс

Aminev[1] D.A., Shuvalova[2] A.A., Glukhov[3] S.A., Terentyev[4] D.S.

[1,2,3,4] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

[1] aminev.d.a@ya.ru

[2] shuvalova998@gmail.com

[3] stepa.gl@yandex.ru

[4] terentev.touchtechn@gmail.com

IMPLEMENTATION OF ACTIVE WAVE FIELDS CONTROL SYSTEMS ON AN AMPLIFIER WITH NEGATIVE OUTPUT RESISTANCE FOR PROTECTING ACOUSTIC TOUCH SCREENS BASED

Annotation. The paper examines a system for active control of wave fields using the example of reducing the influence of acoustic noise on the quality of acoustic touch screens. An acoustic emitter with shunt resistance is used as a compensator. Methods for implementing acoustic compensators built into touch panels are analyzed in detail. The design of an active acoustic noise reduction system with negative output impedance is briefly reviewed. Models of acoustic emitters are developed and estimates of their absorption characteristics in a one-dimensional waveguide are given.

Keywords: acoustic touch screens, surfactants, noise, vibration, protection, suppression, active noise control, acoustic impedance

Введение

Проблемы защиты от воздействия волновых полей (акустических, вибрационных, электромагнитных и т.п.) обуславливают целесообразность разработки средств комплексной и локальной защиты [1]. Так, например, низкочастотный акустический шум, возникающий при эксплуатации автотранспорта и т. п. не только негативно влияет на физическое состояние человека, но и приборов. Такие воздействия на человека угнетают центральную нервную систему, вызывают изменение скорости дыхания и пульса, способствуют нарушению обмена веществ, возникновению сердечно-сосудистых заболеваний [2, 3]. Кроме этого, они воздействуют и на технические системы. Например, в последнее время широкое распространение получили различные сенсорные экраны терминалов и мобильных устройств. Такие экраны могут быть реализованы в виде: матричных, оптических, тензометрических, деформационных, индукционных, резистивных, емкостных, инфракрасных и на поверхностно-акустических волнах [4-6]. Сенсорные экраны на ПАВ (поверхностно-акустические волны (surface acoustic wave, SAW)) используют пьезоэлементы, размещенные по углам экрана, которые формируют ультразвуковые волны вдоль поверхности экрана. Специальные отражатели, расположенные равномерно по краям с одной стороны, распределяют эти волны по всему экрану. На противоположной стороне экрана размещаются сенсоры, которые регистрируют данные волны. При касании экрана пальцем часть энергии акустических волн поглощается. Приемники фиксируют это изменение, а система управления вычисляет положение точки касания. Экраны такого типа имеет высокую прозрачность и долговечность. Точность этих экранов выше, чем матричных, но ниже, чем у емкостных. Главным достоинством акустического сенсорного экрана является возможность отслеживать не только координаты точки, но и силу нажатия. Основной недостаток экранов на ПАВ обусловлен влиянием вибрации и/или акустических шумов, а также загрязнений поверхности экрана. Это делает актуальной задачу разработки средств снижения влияния волновых воздействий (акустических шумов и вибраций), как локальных, так и пространственных на акустический сенсорный экран.

Акустический шум — это любой нежелательный звук либо совокупность звуков, мешающих восприятию полезных сигналов и оказывающих вредное или раздражающее действие на человека. Акустическое загрязнение измеряется в децибелах (дБ) - единицах измерения, обозначающих соотношение громкости. Уровень шума, не вредящий человеку, составляет около 45 дБ. Звуки, чья громкость превышает 80 дБ считаются шумовым загрязнением [2]. Выделяют низкочастотные (до 500 Гц) и высокочастные (свыше 500 Гц) акустические воздействия. Для снижения акустического воздействия на высоких частотах обычно используются пассивные средства защиты [1]. На низких частотах целесообразно использовать активные средства [7], использующие дополнительные источники энергии для формирования компенсирующего излучения.

Пассивные методы, реализуемые посредством звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов и конструкций наиболее эффективны в области средних и высоких частот. Однако, пассивные резонансные глушители близки к своему пределу и их уровень снижения шума ограничен [1].

Активные методы управления волновыми полями различной природы позволяют снижать уровень акустического воздействия в локальной зоне, которое не может быть достигнуто с помощью традиционных пассивных методов защиты, однако они эффективны только в низкочастотной области [8-16].

Впервые принципы активного управления волновыми полями были описаны в работах Малюженца [17] и Олсона [18, 19]. Принцип действия активных систем базируется на принципе деструктивной интерференции, которой состоит в том, что распространяющаяся звуковая волна может быть погашена путем ее смешения с инвертированной звуковой волной, которая сдвинута по фазе относительно основной на 180º. Однако реализация данного метода на практике сталкивается с многочисленными трудностями. Для полного гашения волнового поля необходимо получать точную инвертированную копию основной звуковой волны, что практически не достижимо.

Направления исследований последних лет затрагивают вопросы построения простых активных систем, которые за счет подбора номиналов значения пассивных элементов, используемых в цепи усилителя с отрицательным выходным сопротивлением обеспечивают заданный уровень снижения негативного волнового воздействия.

Целью работы является разработка электронного блока простейшей активной системы снижения негативного акустического воздействия на акустические сенсорные экраны на базе усилителя с отрицательным выходным сопротивлением.

В работе предложен перспективный подход к использованию шунтирующего элемента усилителя с отрицательным выходным сопротивлением в электро-акустической цепи, что позволяет создавать эффективные, простые малоразмерные системы снижения акустических воздействий, в том числе применяемые и для снижения деструктивных воздействий внешних волновых полей на сенсорные экраны на основе ПАВ.

Практическая значимость применения усилителя с отрицательным выходным сопротивлением заключается в создании возможности эффективного поглощения акустических волн, предотвращая их отражение.

1. Обзор литературы

В последнее время получили широкое распространение сенсорные экраны на поверхностно-акустических волнах. Экран на ПАВ представляет собой стеклянную панель с пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП), находящимися по углам. По краям панели находятся отражающие и принимающие датчики. Принцип действия такого экрана заключается в следующем. Система управления (СУ) формирует высокочастотный электрический сигнал и посылает его на ПЭП. ПЭП преобразует этот сигнал в ПАВ, а отражающие датчики его соответственно отражают. Отражённые волны принимаются соответствующими датчиками и посылаются на ПЭП. ПЭП, в свою очередь, принимают отражённые волны и преобразовывают их в электрический сигнал, который затем анализируется с СУ. При касании экрана пальцем часть энергии акустических волн поглощается. Приёмники реагируют на касание предметом, способным поглотить волну (палец, рука в перчатке, пористая резина) и фиксируют это изменение, а СУ вычисляет положение точки касания.

Основным преимуществом акустических сенсорных панелей (АСП) является возможность определения не только координат, но и силы нажатия.

Среди основных недостатков АСП следует отметить чувствительность к загрязнению рабочей поверхности (грязь влияет на распространение акустических волн) и не очень высокую точность определения координат точки нажатия. Также возможны нарушения в работе сенсорной панели в условиях сильного шума и вибраций, что в значительной мере ограничивает возможности по использованию устройств данного типа вне помещений.

АСП обладают высокой прозрачностью, так как свет от отображающего прибора проходит через стекло, не содержащее резистивных или проводящих покрытий. В

некоторых случаях для борьбы с бликами стекло вообще не используется, а излучатели, приёмники и отражатели крепятся непосредственно к экрану отображающего устройства.

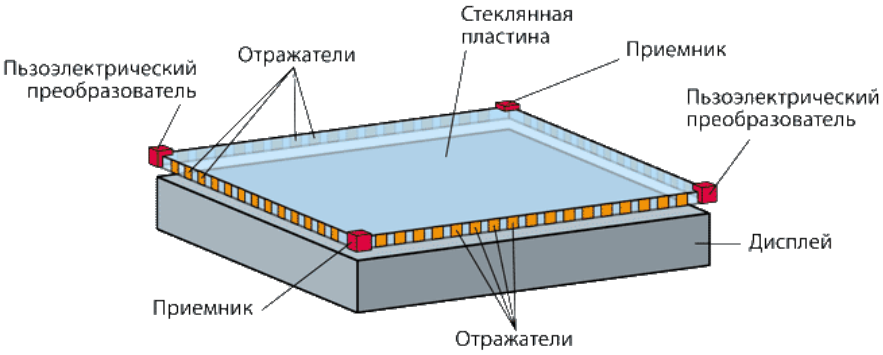


Рисунок 1 – Конструктивная реализация сенсорного экрана на ПАВ (http://www.touchtechn.ru)

Несмотря на сложность конструкции, эти экраны довольно долговечны. АСП применяются в основном в игровых автоматах, в охраняемых справочных системах и образовательных учреждениях. Основной сферой применения сенсорных панелей на базе технологии ПАВ в настоящее время являются информационные киоски, терминалы и т.д. В силу технических особенностей данного решения его целесообразно использовать в дисплеях с большим размером экрана (19 дюймов и более).

Для защиты сенсорных экранов на ПАВ возможно использовать набор дополнительных пьезоизлучателей для поглощения внешнего шума и вибрации.

Принципы построения систем активной компенсации шума и вибрации с помощью отрицательной обратной связи хорошо изучены [3, 20-26]. В работе [20] было предложено использовать катушку излучателя в качестве разновидности резонатора Гельмгольца для подавления колебаний труб. Рассматривался шунтированный излучатель в качестве резонатора Гельмгольца для отражения низкочастотного шума трубы. В работах [21, 22] предложены схемы шунтирования излучателя для контроля полного импеданса стенки одномерного волновода. Показана возможность низкочастотного поглощения в относительно узком диапазоне частот, соответствующем резонансу шунтированного излучателя. Результаты теоретических и экспериментальных исследований [23-26] обеспечили хорошее понимание в использовании шунтированных излучателей в качестве поглотителей шума, но полученные при этом результаты не привели пока к созданию и широкому использованию высокоэффективных устройств гашения шума. Поэтому работы в данном направлении требуют дальнейшего развития.

2. Методы и модели

Акустические волны (звуковые волны) - возмущения упругой материальной среды (газообразной, жидкой или твёрдой), распространяющиеся в пространстве [2, 27]. Возмущениями являются локальные отклонения плотности и давления в среде от равновесных значений, смещения частиц среды от положения равновесия. Эти изменения состояния среды, передающиеся от одних частиц вещества к другим, характеризуют звуковое поле. В акустических волнах осуществляется перенос энергии и количества движения без переноса самого вещества. В газообразных и жидких средах, обладающих объёмной упругостью, могут распространяться только продольные акустические волны, в которых смещения частиц совпадают по направлению с распространением волны. Звуковое давление при этом является скалярной величиной. В неограниченных твёрдых средах, обладающих, помимо объёмной, также и сдвиговой упругостью, наряду с продольными могут распространяться и поперечные (сдвиговые) акустические волны; в них направления смещений частиц и распространения волны взаимно перпендикулярны.

Особое значение имеют гармонические акустические волны, в которых характеристики звукового поля изменяются во времени и в пространстве по синусоидальному закону. Акустические волны любой формы можно представить в виде суммы (в предельном случае - интеграла) гармонических волн разных частот. В результате разложения волны на простые гармонические составляющие получается спектр звука.

Нижняя граница диапазона частот акустических волн практически не ограничена - в природе встречаются волны с частотой, равной сотым и тысячным долям герца. Верхняя граница диапазона акустических волн обусловлена физической природой их взаимодействия с веществом: в газах длина волны должна быть больше длины

свободного пробега молекул, а в жидкостях и твёрдых телах - больше межмолекулярного или межатомного расстояния.

На этом основании за верхнюю частотную границу диапазона в газах принята величина 109 Гц, в жидкостях 1010- 1011 Гц, в твёрдых телах 1012-1013 Гц.

Условные границы области акустических волн, воспринимаемых человеком на слух - 16 Гц – 20 кГц. Ниже лежит область инфразвука, выше – ультразвука (2•104 Гц – 109 Гц) и гиперзвука (109 Гц – 1013 Гц).

Гиперзвуковые волны в кристаллах иногда рассматривают с позиций квантовой теории, сопоставляя им фононы.

Самой простой формой звуковой волны является плоская синусоидальная волна. Синусоидальные волны в чистом виде редко встречаются в природе, однако именно с них следует начинать изучение физики звука, так как любые звуки можно разложить на комбинацию синусоидальных волн.

Синусоида чётко демонстрирует три основных физических критерия звука - частоту, амплитуду и фазу.

Частота - это величина, характеризующая количество колебаний в секунду (рисунок 2). Она измеряется в количестве периодов колебания либо в герцах (Гц). Человеческое ухо может воспринимать звук в диапазоне от 20 Гц (низкочастотные) и до 20 КГц (высокочастотные). Звуки, находящиеся выше данного диапазона, называется ультразвуком, а ниже – инфразвуком, и человеческими органами слуха не воспринимаются.

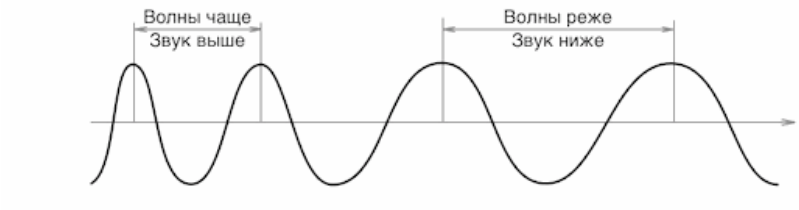
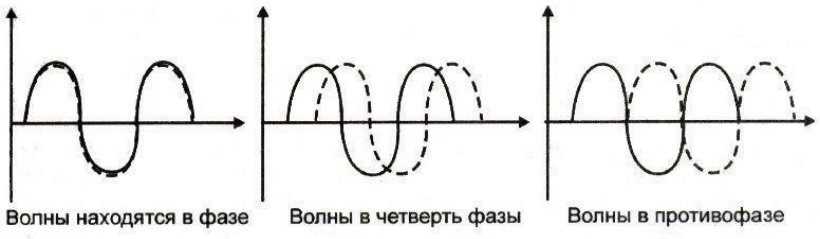


Рисунок 2 – Частота акустической волны

Понятие амплитуды (или интенсивности) звуковой волны имеет отношение к силе звука, которую человеческие органы слуха воспринимают как объём или громкость звука. Люди могут воспринимать достаточно широкий спектр громкости звука: от капающего крана в тихой квартире, и до музыки, звучащей на концерте. Для измерения громкости используются фонометры (показатели в децибелах), в которых используется логарифмическая шкала, чтобы сделать измерения более удобными.

Фаза используется для того, чтобы описать свойства двух звуковых волн (рисунок 3). Если две волны имеют одинаковую амплитуду и частотность, то говорят, что две звуковые волны находятся в фазе.



а) б) в)

Рисунок 3 - Фаза акустической волны

Фаза измеряется в диапазоне от 0 до 360, где 0 - это значение, показывающее, что две звуковые волны синхронны (в фазе), а 180 - значение, означающее противоположность волн друг к другу (находятся в противофазе). Когда две звуковые волны находятся в фазе, то два звука накладываются и сигналы усиливают друг друга. При совмещении двух сигналов, не совпадающих по амплитуде, из-за разницы давления идёт подавление сигналов, что приводит к нулевому результату, то есть звук исчезает.

При обработке волновых полей, фазовые искажения являются одним из ее важнейших инструментов. На рисунке 3а показаны две волны, которые полностью совпадают друг с другом. В этом случае говорят, что волны находятся в фазе или "софазны". На рисунке 3в в том узле, где у одной волны находится область высокой плотности, у другой - область низкой плотности. В этом случае говорят, что волны находятся в противофазе. При этом, если волны одинаковые, происходит их взаимное уничтожение. Рисунок 3б иллюстрирует положение, при котором фаза одной волны сдвинута относительно другой. Исходя из данных графиков видно, что для реализации идеального подавления действия нежелательного поля необходимо сформировать поле,

инверсное по отношению к нему. Системы снижения волновых воздействий, построенные на данном принципе, получили название активные, так как для их функционирования требуется применение дополнительных источников энергии. Подробная классификация активных систем приведена в работе [11]. Из нее видно, что реализация таких систем является сложной технической задачей и требует применения сложных систем управления [7, 28 - 33]. Постоянно ужесточающиеся требования к простоте и дешевизне средств отображения информации на ПАВ обуславливают актуальность разработки простейших и дешевых средств компенсации, например, на основе усилителя с отрицательным выходным сопротивлением.

3. Решение проблемы компенсации низкочастотного акустического воздействия

Рассмотрим подробнее принципы построения систем активной компенсации нежелательных низкочастотных акустических воздействий с помощью шунтирующих элементов. Шунтирование - это процесс параллельного подсоединения электрического элемента к другому элементу, обычно с целью уменьшения итогового сопротивления цепи. Шунт - это элемент, который позволяет электрическому току (либо магнитному потоку) протекать в обход какого-либо участка схемы, обычно представляет собой низкоомный резистор, катушку или проводник. Данный подход впервые предложен американским изобретателем Эдвардом Вестоном в 1893 году.

Современные реализации излучателей многообразны по своей конструкции и технологии. Они отличаются по многим критериям и параметрам. Их может отличать диапазон воспроизводимых частот, непосредственная комплектация, форм-фактор и многие другие характеристики. Классификация современных моделей динамических излучателей представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Классификация динамических громкоговорителей

При реализации компенсатора нежелательных волновых воздействий на средства отображения с использованием ПАВ необходимо учитывать различные факторы. В электродинамическом излучателе источником механических колебаний диффузора выступает облегченная катушка. Она перемещается в поле высокомощного магнита. Такое устройство завоевало большую популярность и широкое распространение, однако для средств отображения на ПАВ слабо подходит. Электростатический излучатель основан на электростатическом взаимодействии специальных тонких мембран, между ними имеет место высокое напряжение. Пьезоэлектрический излучатель основывается на пьезоэффкте, он достаточно компактен и может эффективно использоваться в сенсорных средствах отображения на ПАВ. Обычно он представляет собой двухполосный излучатель в виде активного элемента с широким рабочим диапазоном. Они имеют относительно небольшие размеры и различаются по уровню мощности. Электромагнитный излучатель имеет в своей конструкции магнитные материалы, из которых сделан диффузор. Он перемещается под воздействием магнитного поля электрического магнита. Ионофон реализует схему, в которой отсутствует диффузор, воздушные колебания образуются под воздействием электрозаряда.

В общем случае поглощение звука зависит от его частоты и от свойств среды, в которой распространяется звук [1, 2]. Коэффициент поглощения обратно пропорционален квадрату длины волны или прямо пропорционален квадрату частоты звука. Звуки высоких тонов поглощаются в атмосфере значительно сильнее, чем низких. Поэтому звуки, представляющие собой суперпозицию волн разной частоты, резкие вблизи источника возникновения, по мере удаления от него становятся более глухими и низкими потому, что высокие тона, которым соответствуют большие частоты, быстро затухают. В большинстве случаев звуки распространяются в виде сферических волн, и поэтому уменьшение интенсивности обусловливается как поглощением, так и рассеянием энергии. Сферическая звуковая волна с течением времени заполняет все больший объем. Поэтому с увеличением расстояния движение частиц воздуха все больше слабеет. Окружим источник звука сферой радиусом R. Если сила излучаемого источником звука с течением времени не изменяется, то через выбранную поверхность будет протекать столько же звуковой энергии, сколько ее излучает источник. При распространении длинных звуковых волн, для которых поглощение в атмосфере мало, преобладающую роль играет рассеяние энергии. Для коротких волн преобладает поглощение [1, 2].

Одним из важных параметров звуковой волны является акустический импеданс. Он характеризует совокупную сопротивляемость внешней среды звуковому воздействию,

которое является величиной совокупности амплитуд звукового давления по отношению к скорости звука. В самом общем виде, понятие акустического импеданса, иначе комплексного акустического сопротивления окружающей среды, описывает специфическую сопротивляемость, с которой сталкивается поверхность способная к колебаниям, например, стенкам рупора конусовидной формы [1, 2]. Виды реактивного сопротивления делятся на инерционное и упругое.

Методика определения импеданса шунта, обеспечивающего полное поглощение звука излучателем, подробно рассмотрена в [3]. Модуль импеданса является зеркальным отражением мнимой части импеданса относительно горизонтальной оси. Его зависимость от частоты имеет противоположный характер, соответствующий росту модуля импеданса с частотой везде, кроме окрестности резонансной частоты. Зависимость действительной части импеданса от частоты характеризуется тем, что вне окрестности собственной частоты динамика действительная часть быстро стремиться к нулю. В противоположность этому, мнимая часть хотя и плавно снижается на частотах выше окрестности собственной частоты динамика, однако это снижение существенно медленнее, чем действительной части, так что даже на большом удалении от собственной частоты резонатора значения мнимой части все еще нельзя считать бесконечно малыми. Это обуславливает то, что нельзя свести искомый импеданс шунта к линейному. Требуемый импеданс шунта обеспечивает полное поглощение звука, является сложной и трудно реализуемой функцией частоты. Поэтому часто при проведении оценочных расчетов используют упрощенный подход, при котором полагается, что можно считать импеданс шунта линейной функцией, соответствующей электрической цепи из последовательно соединенных резистора и индуктивности. При этом значение этого импеданса должно быть отрицательным.

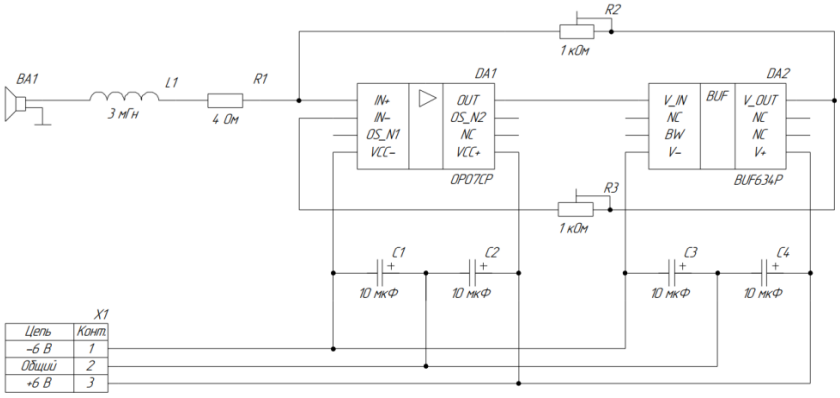


Рисунок 5 – Шунтирующая цепь с обратным сопротивлением

Это обуславливает использование при практической реализации такого шунтирующего импеданса операционного усилителя. Как показано в [3] действительные части линеаризованного и требуемого импедансов совпадают вне окрестности собственной частоты динамика, а модули этих импедансов примерно соответствуют друг другу и совпадают лишь на некоторых частотах. При этом сопротивление шунта оказывает существенное влияние на характер кривой поглощения. При нулевом сопротивлении максимум поглощения, приближающийся к 1, соответствует собственной частоте динамика, а затем с дальнейшим ростом частоты поглощение динамика плавно снижается, стремясь к нулю. С ростом сопротивления шунта значение этого максимума поглощения снижается, а при дальнейшем росте меняется и форма кривой поглощения. Кривая поглощения обретает новый максимум с поглощением близким к единице на частоте 500 Гц. В данном случае влияние индуктивности шунта на кривую поглощения оказалось более простым: с увеличением индуктивности шунта значительно (в несколько раз) возрастает частота, на которой наблюдается наибольшее поглощений звука, причем максимальное значение этого экстремума, равное 1, соответствует частоте около 400 Гц. Следует отметить, что поглощение излучателя очень чувствительно к параметрам шунта. Даже небольшие изменения значений этих параметров приводит к значительны изменениям частотных характеристик его поглощения.

Вариант реализации шунтирующей цепи с обратным сопротивлением (представлен на рисунке 5 [3]. Данная шунтирующая цепь с отрицательным выходным сопротивлением построена на двух основных элементах: операционные усилитель OP07CP и буфер BUF634P. Данное решение за счет усиления сигнала обеспечивает более высокий коэффициент поглощения излучателя, следовательно шунтирующая цепь с отрицательным выходным сопротивлением является достаточно эффективной.

Заключение Представленная концепция реализации системы активной защиты акустических сенсорных экранов от влияния волновых полей с помощью усилителя с

отрицательным выходным сопротивлением показывает, что при правильно подобранных значениях индуктивности и сопротивления использование отрицательного шунтирования приведет к эффективному поглощению звуковой волны на широком диапазоне частот.

Отдельные результаты получены в рамках Государственного задания по проекту FSFN-2024-0027

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов Г.Л., Юдин Е.Я., Хюбнер Г. и др. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Г.Л. Осипова, Е.Я. Юдина. - М.: Стройиздат. 1987. - 558 с.

2. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику // Учебное пособие. 1984.

3. Власов Д.С., Малеванный А.Ю. Исследование систем активного управления акустическими полями на основе акустического импеданса // Датчики и системы. 2020. № 3 (245). С. 19-31.

4. Terent'ev D.S., Shakhnov V.A., Vlasov A.I. Graphene flexible touchscreen with integrated analog-digital converter // Russian Microelectronics. 2017. V. 46. № 3. pp. 192-199.

5. Krivoshein A.I., Terent'ev D.S., Shakhnov V.A., Vlasov A.I. Investigation of a capacitor array of a composite capacitive touch panel // Russian Microelectronics. 2018. V. 47. № 5. pp. 299-306.

6. Терентьев Д.С., Власов А.И., Токарев С.В. Проекционно-ёмкостной сенсорный экран для встраиваемых мобильных систем // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). С. 016-026.

7. Elliott S.J., Nelson P.A. Active Noise Control//NoiseNews International. June I994. P. 75-98.

8. Любашевский Г.С. Орлов А.И., Тартаковский Б.Д., Чувильчиков М.С. О скорости сходимости адаптивного процесса гашения широкополосных колебаний в одномерных структурах//Акустический журнал. 1990. Т. 36. №3. С. 496-501.

9. Арзамасов С. Н., Мальцев А.А. Адаптивный алгоритм активной компенсации широкополосного случайного поля//Известия вузов. Радиофизика. 1985. Т.28. №8.

10. Власов А.И., Володин Е.А., Семенцов С.Г., Шахнов В.А. Электронные системы активного управления волновыми полями: история и тенденции развития // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 2002. № 4. С. 3-23.

11. Власов А.И. Современное состояние и тенденции развития теории и практики активного гашения волновых полей // Приборы и системы управления. 1997. № 12. С. 59-70.

12. Власов А. И. Принципы активного подавления действия вибрационных полей на электронную аппаратуру // Приборы и системы управления. 1996. №11. С. 30-32.

13. Власов А.И., Семенцов С.Г., Поляков Ю.А. Микропроцессорные микросистемы активной акустической индивидуальной защиты // Микросистемная техника. 2000. №2. С. 5-20.

14. Власов А.И. Нейросетевая реализация микропроцессорных систем активной акусто- и виброзащиты // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2000. № 1. С. 40-44.

15. Власов А.И. Особенности построения систем автоматизированного синтеза и моделирования средств защиты от влияния волновых полей // Информационные технологии. 1997. № 9. С. 31-38.

16. Власов А. И. Аппаратная реализация нейроадаптивных систем активного управления волновыми полями в промышленном стандарте PC-104 // Информационные технологии. 1998. № 12. С. 13-17.

17. Малюженец Г.Д. Об одной теореме для аналитических функций и ее обобщение для волновых потенциалов // III Всес. симпоз. по дифракции волн - М.: Наука. 1964.

18. Olson H.F., May E.G. Electronic sound absorber // Journal Acoustic Society America. 1953. 25. N6. pp.1130-1136.

19. Olson, H.F. Electronic Sound Absorber. US Patent No. 2,983,790. Filed: April 30, 1953. Patented: May 9, 1961.

20. Fleming, A.J., Niederberger, D., Moheimani, S.O. R., Morari, M. Control of resonant acoustic sound fields by electrical shunting of a loudspeaker // IEEE Trans. Control Sys. Tech., 2007, v. 15, p. 689-703.

21. Lissek H., and Meynial X. A preliminary study of an isodynamic transducer for use in active acoustic materials // Appl. Acoust. 2003, v. 64, p. 917–930.

22. Lissek H., Boulandet R. and Romain F. Electroacoustic absorbers: bridging the gap between shunt loudspeakers and active sound absorption // J. Acoust. Soc. Am., 2011, v.129, p. 2968-2978.

23. Zhang Y. Dynamic mass modification by electric circuits // M. Phil Thesis, The University of Hong Kong. 2012. 123 p.

24. Zhang Y, Chan YJ, Huang L. Thin broadband noise absorption through acoustic reactance control by electro-mechanical coupling without sensor // J. Acoust. Soc. Am., 2014, v. 135. P. 2738-2745.

25. Tao J., Jing R. and Qiu X. Sound absorption of a finite micro-perforated panel backed by a shunted loudspeaker // J. Acoust. Soc. Am., 2014, v. 135, N 1. pp. 231-238.

26. В.А. Харин, Г.П. Булдаков Активный поглотитель звука // Акустика среды обитания - М.: 2016. С. 177-180.

27. Флеминг Дж. Волны в воде, в воздухе и в эфире - Государственное издательство. 1926. 254 с.

28. Адаптивные фильтры: Пер. с англ./Под ред. К.Ф.Н. Коуэна и П.М. Гранта. - М.: Мир. 1988. 392 с.

29. Уидроу Б., Гловер Д., Маккул Д. и др. Адаптивные компенсаторы помех. Принципы построения и применения//ТИИЭР. 1975. Т. 63. №12. С. 69-98.

30. Чеканов А.Н., Парфенов Е.М., Усачев В.П., Резчикова Е.В. Методы защиты электронной аппаратуры от механических и акустических воздействий/под ред. А.Н. Чеканова - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1987. - 44 с.

31. Теория активных виброзащитных систем - Иркутск. Изд-во Иркутск. политехн. ин-та 1974.

32. Мельников И.И., Резчикова Е.В., Сергеева М.Д., Соловьев В.А. Лабораторный комплекс по исследованию вибрационных воздействий на ячейки электронной аппаратуры // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2020. Т. 2. С. 136-139.

33. Резчикова Е.В., Лыонг К.Л. Анализ современных способов защиты бортовой электронной аппаратуры от механических внешних воздействий // Технологии инженерных и информационных систем. 2021. № 3. С. 10-22.

УДК 621.396:621.372

Бардик[1] Э.Р., Власов[2] А.И., Киселев[3] П.Д., Селиванов[4] К.В.

[1,2,3,4] Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

[1] edu.bardik@gmail.com

[2] vlasovai@bmstu.ru

[3] k03iselev@yandex.ru

[4] selivanov_kv@mail.ru

ВИЗУАЛЬНОЕ СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Аннотация. В работе рассматриваются принципы системного проектирования комплексов предиктивной аналитики в энергетике на основе визуальных моделей. Предлагаемая методика визуального моделирования энергокомплексов отражает их структурные элементы и взаимосвязи, а также характер протекаемых процессов. Подробно рассмотрены принципы построения систем предиктивной аналитики. В заключении даны рекомендации по реализации методов и средств предиктивной аналитики и их интеграции в энергосистемы с возобновляемыми источниками энергии.

Ключевые слова: визуальное моделирование, системное проектирование, возобновляемая энергетика, предиктивная аналитика

Bardik[1] E.R., Vlasov[2] A.I., Kiselev[3] P.D., Selivanov[4] K.V.,

[1,2,3,4] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

[1] edu.bardik@gmail.com

[2] vlasovai@bmstu.ru

[3] k03iselev@yandex.ru

[4] selivanov_kv@mail.ru

VISUAL SYSTEM DESIGN OF PREDICTIVE ANALYTICS COMPLEXES IN ENERGY INDUSTRY

Annotation. The paper discusses the principles of system design of predictive analytics complexes in the energy sector based on visual models. The proposed methodology for visual modeling of energy complexes reflects their structural elements and relationships, as well as the nature of the ongoing processes. The principles of constructing predictive analytics systems are discussed in detail. In conclusion, recommendations are given for the implementation of predictive analytics methods and tools and their integration into power systems with renewable energy sources.

Keywords: visual modeling, system design, renewable energy, predictive analytics.

Введение

Переход к интеллектуальным электроэнергетическим СПАЭм с использованием источников возобновляемой электроэнергии и интеллектуальным управлением на основе алгоритмов предиктивного анализа является актуальной задачей. Это обуславливается тем, что величина производства электроэнергии не является постоянной и не поддаётся регулировке [1-3]. Благодаря внедрению таких технологий, как IoT (Internet of Things–интернет вещей) [4], цифровым двойникам [5] и технологиям обработки больших данных (BigData) и машинного обучения [6] становится возможным реализация управляющих комплексов подобными гибридными электроэнергетическими СПАЭми [7-9].

В последнее время широкое распространения для комплексного прогнозного управления находят применение системы предиктивной аналитики, которые имеют сложную структуру и состоят из многих аппаратно-программных функциональных модулей [10-13]. В результате выработки управляющих воздействий и сбора статистики генерируются и обрабатываются большие объёмы данных [6, 14].

Так как обработка больших объёмов данных является нетривиальной задачей, применение визуальных методик системного анализа открывает новые возможности для аудита системы и дальнейшего улучшения ее работы и масштабирования [15-20]. Результатом системного анализа служит структурно-функциональная модель, позволяющая принимать решения о дальнейшем развитии производственных процессов Системы. Благодаря рассмотрению потоков данных представляется возможным улучшение Системы, её более совершенная работа в части прогнозирования.

Важным аспектом рассмотрения работы любой информационной системы является контроль всех информационных потоков, циркулирующих в системе. Задачи СПАЭтизации, формализации и унификации всех входных и выходных данных представляются крайне важными. В качестве средств для решения этих задач могут быть применены различные методы визуального системного проектирования и моделирования [15-20]. Применение этих методов позволяет упростить процесс работы с документацией системы, повышая эффективность и производительность процессов разработки и взаимодействия с системой.

В настоящее время поиск решения данных проблем построен вокруг использования методов визуального проектирования и моделирования для описания информационных

систем генерации, обработки и хранения данных. Также на основании полученных данных возможен анализ и улучшение существующих производственных процессов.

В рамках работы с использованием средств визуального системного проектирования разрабатывается структурно-функциональная модель "Системы Предиктивной Аналитики Энергокомплекса» (СПАЭ).

Цель работы заключается в анализе и исследовании принципов функционирования типовой СПАЭ на основе структурно-функциональных моделей, отражающих компоненты системы, процессы и их взаимосвязи и нахождении решений по их усовершенствованию.

Для достижения поставленных целей в работе решаются следующие задачи:

- проводится структурная декомпозиция и исследование процесса работы Приложения в нотациях IDEF0, IDEF3 и DFD (DataFlowDiagram), что позволяет визуализировать последовательность операций [17],
- разработка и исследование диаграммы дерева узлов процесса работы СПАЭ, предназначенной для иерархического представления процессов работы,
- проведение оптимизации процесса работы СПАЭ по временному, ценовому и UDP (User Defined Properties) критериям для усовершенствования базового процесса работы.

Внедрение методов визуального анализа и проектирования на всех этапах системного проекта позволяет добиться решения сложных проблем с целью генерации, обработки и хранения объемных массивов данных. В качестве методов, использованных при решении поставленной задачи, были использованы элементы теории структурно-функционального моделирования, теория объектно-ориентированного проектирования.

Результатом работы являются:

-первичный анализ процесса работы и представление его в виде контекстной диаграммы «чёрного ящика», на основе которой строится структурно-функциональная модель,
- анализ процесса работы и представление его в нотации IDEF0 для определения входных и выходных воздействий, объектов управления и механизмов,
- анализ операций процесса работы и представление операционной диаграммы в нотации IDEF3 для определения последовательности операций и их зависимостей,
- анализ потоков данных, представленных в диаграммах потоков в нотации DFD для определения потоков данных между элементами модели,
- разработка диаграммы дерева узлов процесса работы для визуализации иерархических отношений в модели и исследования альтернативных точек зрения процесса работы для улучшения процессов с использованием вышеописанных критериев.

Разработанная визуальная структурно-функциональная модель СПАЭ позволяет наглядно представить его структуру с учётом временных и стоимостных затрат, что, в свою очередь, предоставляет возможности для быстрого и эффективного анализа процесса работы. Также, визуальная модель позволяет проводить оптимизацию по различным критериям: время, стоимость работ и UDP - критериям (User Defined Properties). Эти критерии определяются пользователем, что предоставляет гибкость при анализе процесса работы и его оптимизации по вышеуказанным критериям. В результате проведения оптимизации по назначенным критериям у разработчиков появляется возможность проанализировать альтернативные точки зрения и принять обоснованные решения по реализации СПАЭ в рамках развития и создания новых инновационных компонентов энергокомплекса [21, 22].

2 Структура и состав СПАЭ

Комплекс СПАЭ предназначен для подачи управляющих команд на сервер, который управляет гибридной электроэнергетической системой с возобновляемыми источниками электрической энергии [23]. В Системе реализованы компоненты, которые управляют подачей электроэнергии на выходные группы потребителей. Также имеется возможность мониторинга системы: текущего состояния генерации электроэнергии, текущего потребления мощности и заряда АКБ (аккумуляторной батареи), а также модуль статистической обработки с визуализацией в виде графиков, на которых собрана информация о предыдущих периодах работы СПАЭ, и предиктивный прогноз потребления и генерации мощности. Так как СПАЭ имеет возможность автоматической работы без участия оператора, в ней реализован выбор режима работы – ручной, или же работа по одному из 4 автоматических алгоритмов. В случае выбора автоматического режима работы управление группами потребителей блокируется и СПАЭ автоматически регулируется с учётом особенностей выбранного алгоритма работы, который заранее запрограммирован на сервере.

С точки зрения программной части СПАЭ можно разделить на модули: интерфейсный модуль, модуль общего управления, модуль маршрутизации данных, модуль сетевого взаимодействия.

Интерфейсный модуль отвечает за представление визуального интерфейса оператору. В нём реализованы все управляющие элементы, поля для вывода информации, графики, представляющие информацию об исторических данных и прогнозе на будущее. В данном модуле не осуществляется никакой передачи данных на управляющий сервер.

Модуль общего управления описывает логику комплекса. В нём реализованы функции проверки данных, проходящих через СПАЭ, вызов обработчиков событий, которые каким-либо образом влияют на его работу. Данный модуль описывает внутренние структуры данных, которые хранят текущее рабочее состояние. Модуль общего управления занимается формированием сообщений, пересылаемых управляющему серверу, а также извлечением информации из приходящих от сервера сообщений.

Модуль сетевого взаимодействия предоставляет возможности по передаче данных. Данный модуль не занимается никакой обработкой данных, а лишь отправляет их на сервер, или принимает от сервера и осуществляет базовые проверки на корректность.

Модуль маршрутизации данных отвечает за перенаправление потоков данных. Данные от интерфейсной части передаются в модуль маршрутизации, который далее занимается их передачей в модуль общего управления, а затем от него в модуль сетевого взаимодействия. При получении информации от сервера она перенаправляется в подсистему общего управления, и, по необходимости, в интерфейсный модуль. Структурная схема СПАЭ представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема СПАЭ

При реализации комплекса использовалась методология ООП (объектно-ориентированное программирование). В каждой из частей имеется набор классов, описывающих какую-либо функциональную составную часть.

В Интерфейсном модуле реализован набор классов, представляющих собой экраны: экран авторизации оператора, экран с показаниями датчиков, набор экранов с графиками, представляющими информацию об исторических данных, либо о прогнозе. Также реализован набор вспомогательных классов, представляющих собой отдельные элементы интерфейса (виджеты): виджет графика, виджет тумблера и прочие. Благодаря применению данного подхода достигается повторное использование одних и тех же элементов, сокращается объём написанного кода и упрощается его поддерживание.

Основным классом, представляющим Интерфейсный модуль, является класс `MainWindow`. Он описывает главную форму интерфейса, в нём располагаются все остальные виджеты интерфейса. При запуске ПО отображается интерфейс с несколькими полями для авторизации. После успешной авторизации управление передаётся одному из виджетов-вкладок. При неуспешной авторизации или отсутствии подключения к серверу выводится всплывающее окно с соответствующей информацией.

После успешной авторизации управление передаётся виджету, описываемому библиотечным классом `QTabWidget`. Данный класс позволяет скомпоновать графический интерфейс Приложения в удобную структуру так называемых «вкладок», каждая из которых представляет собой отдельный экран с собранными по схожему предназначению виджетами.

Для реализации классов вкладок использовались две концепции ООП – наследование и полиморфизм. Для вкладок создан интерфейс `ITab`, представляющий собой самый обычный класс с виртуальными методами. Все классы вкладок наследуются от данного класса для получения общего интерфейса класса.

Основной компонент ПО - «Показатели», реализует функцию вывода информации о текущем состоянии системы, описана классом `StatusTab`.

В блоках «Генерация» и «Потребители» представлены показатели вырабатываемой системой и потребляемой 3 группами потребителей мощности. Для каждого из видов

генераторов и групп потребителей указаны значения напряжения на линии, потребляемого или вырабатываемого тока, мощность, а также индикатор заполненности, который отражает, насколько текущая мощность отличается от максимального значения.

В блоке «Режимы работы» оператору представлен выбор режима работы. При выборе «Ручного режима» доступно переключение групп потребителей и дизельных генераторов в активный режим и обратно. При выборе одного из 4 режимов всё управление блокируется, остаётся доступным только мониторинг её состояния и переключение режимов.

В блоке «Аккумулятор» представлена информация об аккумуляторной батарее: напряжение на её выводах, её статус (заряжается/разряжается), а также шкала, отражающая степень заряженности АКБ. Все значения, отображаемые на данной вкладке, предоставляются управляющим сервером, который агрегирует информацию от всех датчиков физической части комплекса. В блоке «Прогноз» представлены предиктивные данные о прогнозируемом потреблении и генерации Системы. Данный экран описывается классом ForecastTab. На вкладке расположен единственный виджет - виджет графика.

На графике отображается линия, отражающая величину прогноза о потреблении комплексом мощности на ближайшие 7 дней. Ось X графика – временная, ось Y-значение электрической мощности. Аналитическая часть сервера просчитывает вероятный вариант потребления с учётом выбранного режима работы и рассчитывает на его базе сумму потребления мощности тех групп, которые будут включены. На этом же графике с той же шкалой нарисована столбчатая диаграмма, значения столбцов которой представляют величину генерируемой всеми источниками электрической мощности. Аналогично потреблению, с учётом выбранного режима рассчитывается прогностическое значение выработанной мощности для каждого из источников. Данные значения суммируются и выводятся на экран АРМ оператора. Для упрощения в нижней части виджета графика расположена его легенда. Значения для вывода прогноза предоставляются сервером.

На экране «Генерация», описываемой классом GenerationTab, представлена историческая и текущая информация о величине генерируемой источниками мощности. На данной вкладке представлено 2 виджета: виджет графика и виджет тумблера с текстом. Тумблер отвечает за переключение состояния дизельного генератора. Аналогично виджету графика на предыдущей вкладке, ось X-временная с единичным делением в сутках, ось Y-значение мощности. Виджет графика содержит столбчатую диаграмму с накоплением. Диаграмма отражает величину генерируемой каждым источником электрической мощности. На графике расположено 8 столбцов, представляющих собой данные о генерации за последние 7 дней и данные за сегодняшний день. Для визуальной наглядности для каждого источника электрической мощности: солнечные батареи, ветряки и дизельный генератор.

Последний раздел – «Потребление», описывается классом ConsumersTab. На ней расположены 4 виджета – виджет графика и 3 тумблера управления группами потребителей. Виджет графика содержит такие же оси, как и у предыдущих двух. На данном графике расположено 3 линии, которые отражают исторические данные о потреблении мощности потребителями трёх групп – для каждой группы отдельная линия, имеющая свой цвет. Снизу также расположена легенда, упрощающая понимание графика. В нижней части вкладки расположены 3 тумблера, отвечающие за переключение состояния групп потребителей. Аналогично тумблеру дизельного генератора, управление ими блокируется при включении автоматического режима работы. Остальные классы Интерфейсного модуля предназначены для использования в более крупных классах. Их описание приведено в таблице 1.

Перечень вспомогательных классов Интерфейсного модуля Таблица 1

Имя класса	Используется классами	Описание
LineEditWidget	MainWindow	Представляет собой поле ввода с расположенным рядом текстом-подсказкой
BCSwitch	GenerationTab, ConsumersTab, StackedBarWithLinesWidget	Виджет тумблера с текстом (вкл. или выкл), изменение состояния оператором может быть заблокировано.
StackedBarWithLinesWidget	ForecastTab, ConsumersTab, GenerationTab	Виджет графика со столбчатой накопительной диаграммой и линией, имеется возможность вывода только столбчатой диаграммы или только линии.
ProgressBar	StatusTab	Виджет шкалы состояния, отражает значение эл. мощности или заряда АКБ в процентах.

При взаимодействии с графическими управляющими элементами посредством механизма сигналов событие передаётся в Модуль общего управления. Данные для всех индикаторных виджетов в Интерфейсный модуль приходят от Модуля общего управления посредством того же механизма сигналов, после чего выводятся на экран. Таким образом, проведено разделение работы на условно «клиентскую» и «серверную» части.

Модуль общего управления состоит из классов кодирования/декодирования отправляемых/принимаемых данных, их валидации, обработки с целью представления оператору и обработки действий оператора. В данном модуле описаны обработчики событий, вызываемых при появлении каких-либо данных. Этими данными могут быть управляющие команды оператора, либо же поступление информации от управляющего сервера. Данные, приходящие от управляющего сервера, декодируются и проходят через внутренние методы обработки. В случае получения некорректных данных они будут отброшены и СПАЭ продолжит свою работу. Для обеспечения коммуникации между СПАЭ и сервером применяется специальный протокол информационного взаимодействия. Он устанавливает формат передаваемых сообщений и протокол сетевого взаимодействия.

Программная реализация Модуля общего управления – сервисный класс Client, который хранит в себе состояние комплекса. Он занимается обработкой всех приходящих данных, по необходимости вызывая обновление информации на экране АРМ оператора. При получении сигналов от Интерфейсного модуля Модуль общего управления изменяет внутренние структуры данных, отражающих рабочее состояние комплекса, формирует сообщение для отправки на управляющий сервер и отправляет сигнал Модулю сетевого взаимодействия.

Модуль сетевого взаимодействия обеспечивает передачу сообщений между СПАЭ и управляющим сервером. Все сообщения передаются в контейнерах JSON, которые предоставляют удобный синтаксис и возможность работы с документами как с объектами в методологии ООП. При получении сообщения от сервера данный модуль осуществляет лишь 1 проверку – на соответствие полученного сообщения формату JSON. Все сообщения между СПАЭ и сервером передаются по протоколу TCP. После получения и декодирования сообщения Модулю маршрутизации посылается сигнал с необходимым содержимым, подлежащим дальнейшей обработке.

Реализация данного модуля – 2 класса – Networker и TCPSocket. Класс TCPSocket предоставляет удобный программный интерфейс для взаимодействия с сетевыми сокетами операционной системы. Класс Networke rреализует шаблон проектирования «Адаптер», по сути являясь прослойкой между классом TCPSocketи остальной логикой Приложения. Он получает сигналы от класса сокета, проверяет полученные данные на соответствие формату JSONи генерирует сигнал для Модуля общего управления о получении команды от управляющего сервера.

Модуль маршрутизации данных занимается перенаправлением данных между модулями Приложения. Он отслеживает все сигналы, посылаемые объектами Приложения, выбирает модули-получатели данного сигнала и перенаправляет полезную нагрузку им. В данном модуле не происходит никакой обработки, он лишь перенаправляет сигналы между модулями комплексами.

Программная реализация данного модуля – класс QMetaObject. В нём реализованы функции подписки на определённые сигналы, регистрация обработчиков для них (концепция «обратного вызова») и генерация сигналов с полезной нагрузкой.

СПАЭ самостоятельно генерирует данные и потребляет их. Генерируемые данные – управляющие команды оператора Системы. Потребляемые данные – информация от датчиков, служебные сообщения от сервера, данные об изменении статуса работы системы.

3 Разработка концептуально-абстрактной модели СПАЭ

На первой уровне системного проекта представим исследуемую систему СПАЭ в обобщенном виде посредством концептуально-абстрактной модели с учётом предварительной декомпозиции его на 2 составные части (рисунок 1.2) [18].

Как видно из концептуально-абстрактной модели, в составе комплекса выделены две основных составляющие, которые выполняют 5 ключевых функций.

4 Разработка структурно-функциональной модели СПАЭ

На следующем уровне системного проекта осуществляется разработка структурно-функциональной модели в нотации IDEF0 [15-20]. На первом уровне декомпозиции строится контекстная диаграмма (рисунок 3), которая иллюстрирует взаимодействие СПАЭ с внешней средой. Нотация IDEF0 предусматривает 4 типа внешних объектов, условно называемых ICOM (I–input, входные данные, C–control, управляющие правила, O–output, выходные данные, M–mechanism, объекты механизмов, с помощью которых осуществляется процесс). Работа комплекса производится над входными данными в виде данных для авторизации, действий оператора и команд от сервера,

под управлением протокола информационного взаимодействия и описания СПАЭ. С комплексом воздействует оператор посредством АРМ оператора. Результатом работы СПАЭ является графическое представление информации о работе комплекса и формирование команд управления на сервер.

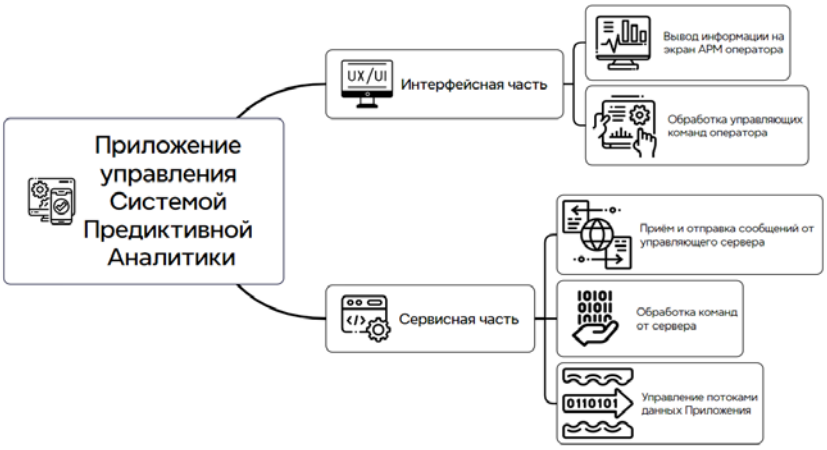


Рисунок 2 – Концептуально-абстрактная модель СПАЭ



Рисунок 3 – Контекстная диаграмма

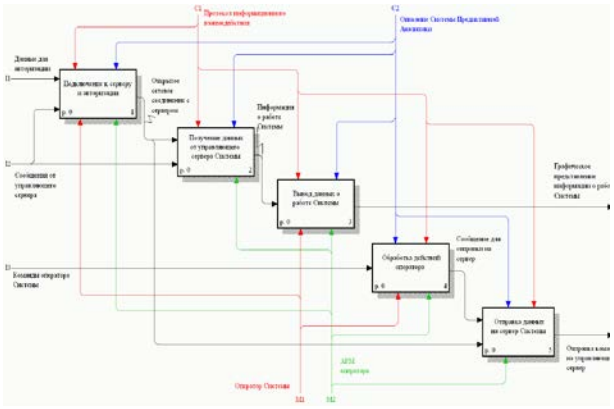


Рисунок 4 – Второй уровень декомпозиции СПАЭ

На втором уровне декомпозиции (рисунок 4), модель представляет собой 5 взаимосвязанные работы: «Подключение к серверу и авторизация», «Получение данных от сервера», «Вывод данных о работе Системы», «Обработка действий оператора», «Отправка данных на сервер». Все эти работы выполняются на АРМ оператора, регламентируются Протоколом информационного взаимодействия и документацией на СПАЭ.

Процесс авторизация иллюстрирует диаграмма **DFD** (Data Flow Diagram) (рисунок 5) [17]. После ввода данных, необходимых для авторизации (логин и пароль пользователя, **IP**-адрес и порт сервера Системы) и нажатия на кнопку «Вход» на стартовом экране Приложения, формируется запрос на открытие сетевого соединения по протоколу передачи данных **TCP**. После установки соединения отправляется запрос на авторизацию в установленном Протоколом информационного взаимодействия формате. Приложению отправляется соответствующее сообщение об успешности авторизации. В случае ошибки соединение разрывается, а иначе СПАЭ начинает получать информацию о работе Системы. Диаграмма второго уровня декомпозиции в нотации **DFD** представлена на рисунке 5.

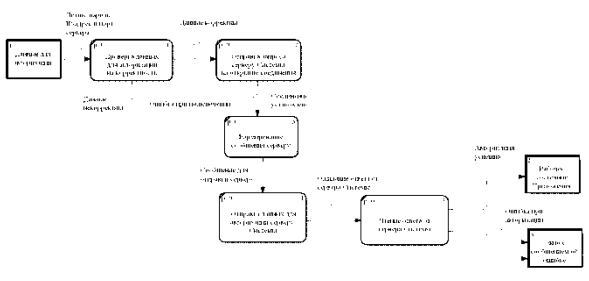


Рисунок 5 – Диаграмма «Подключение к серверу и авторизация»

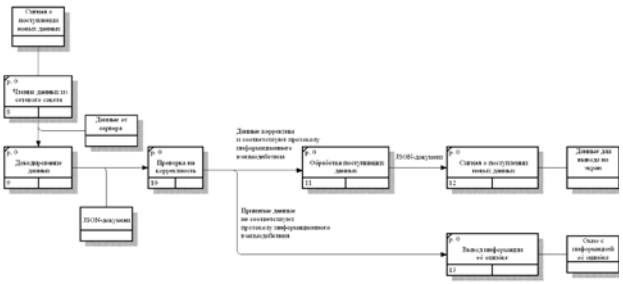


Рисунок 6 – Диаграмма «Получение данных от управляющего сервера Системы»

На рисунке 6 в нотации **IDEF3** [15-17] представлена работа «Получение данных от управляющего сервера Системы». Данная работа содержит действия, направленные на получение данных по сети от удалённого сервера. При получении сигнала от операционной системы о наличии данных для чтения, начинается чтение данных из сетевого сокета. После декодирования данные проверяются на корректность, и в случае успешности проверки, обрабатываются, оповещая остальные части комплекса о поступлении информации.

Аналогичным образом строятся другие диаграммы, описывающие функционал СПАЭ, совокупность всех работ отражается на иерархической диаграмме дерева узлов (рисунок 7).

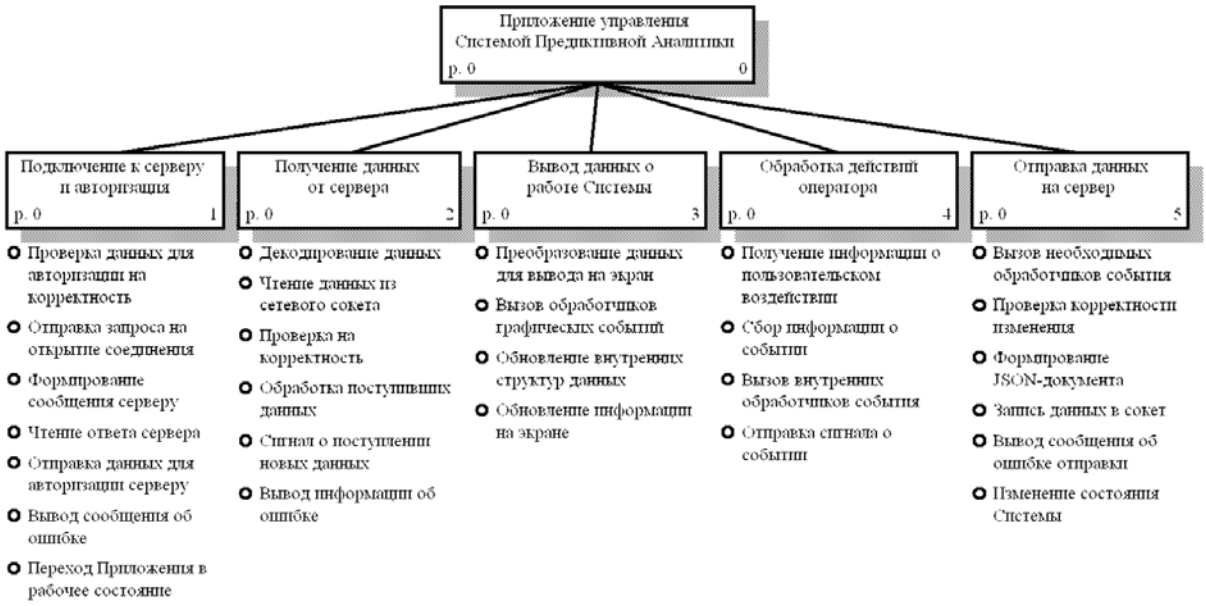


Рисунок 7 – Диаграмма дерева узлов процесса работы СПАЭ

Данная диаграмма показывает иерархию работ модели и позволяет рассмотреть её в целом. На данной диаграмме не показаны взаимосвязи между работами, что позволяет рассмотреть систему Приложения, не углубляясь в отслеживание последовательности работ. После построения структурно-функциональной модели СПАЭ можно переходить к визуальному проектированию отдельных программных компонентов комплекса и его структура данных с использованием ООП парадигм (Объектно-ориентированного программирования) и языка **UML (Unified Modeling Language)** [15-20].

5 Анализ функциональных возможностей СПАЭ

Основная задача СПАЭ – предоставлять удобный доступ к управлению при помощи удобного графического интерфейса с использованием возможностей предиктивной аналитики. СПАЭ включает 4 основных информационных модуля: «Показатели», «Прогноз», «Генерация» и «Потребление». После успешной авторизации оператору предоставляет функционал основного интерфейса (рисунок 8). В секциях «Генерация» и «Потребители» находится информация об электрических показателях работы. Здесь представлены показатели напряжения на линии, потребляемого или генерируемого тока и электрической мощности. Для наглядности добавлен индикатор, показывающий, насколько текущее значение отличается от максимального.

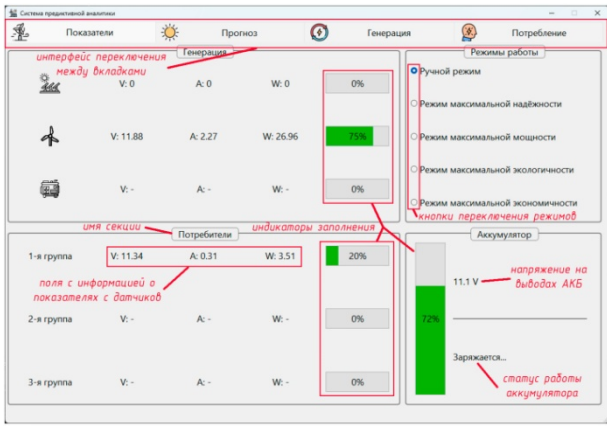


Рисунок 8 – Вид интерфейса модуля «Показатели»

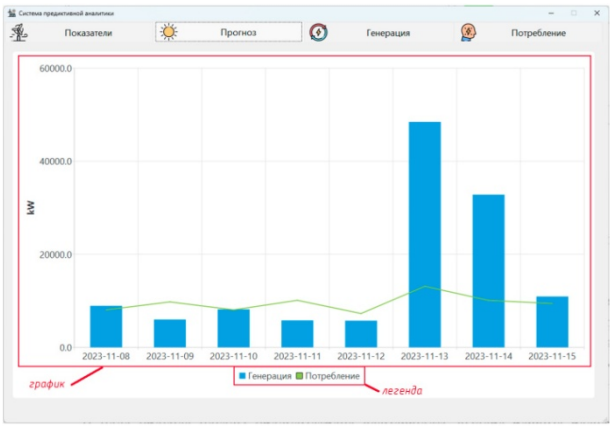


Рисунок 9 – Вид интерфейса модуля «Прогноз»

В секции «Режимы работы» оператору предоставлено управление текущим режимом работы. Автономный контроллер поддерживает выбор одного из 4 автоматических режимов управления группами потребителей и резервным генератором мощности. Также имеется возможность выбора ручного режима работы, в котором оператору предоставлена полная свобода управления. Секция «Аккумулятор» отражает показатели заряда аккумуляторной батареи. Единственным показателем является напряжение на её выводах. Для удобства также реализован индикатор, показывающий степень заряда в процентах. На основе данных за последние несколько промежутков времени устанавливается статус батареи – «Заряжается» или «Разряжается». В случае, если какая-либо группа потребителей или дизельный генератор отключен, вместо значения 0 выводится прочерк.

Модуль «Прогноз» отображает графики, представляющие собой столбчатую диаграмму и линию (рисунок 9). Столбчатая диаграмма отражает показатели генерации электрической мощности Системой, а линия – величину потребляемой мощности всеми группами потребителей. Ось Xграфика – временная, с шагом в 1 день. Ось Yотражает величину электрической мощности. Данные для графиков формируются на сервере, присылаются комплексу с определённым интервалом или при обновлении.

Модуль «Генерация» предоставляет исторические данные о генерации электрической мощности (рисунок 10). На сервере реализован алгоритм сохранения текущих показателей работы комплекса в базу данных, откуда он извлекается для дальнейшего прогнозирования. График представляет собой столбчатую диаграмму с накоплением. Каждый сегмент диаграммы отражает величину генерации электрической мощности одним из источников. Каждый сегмент имеет свой цвет для их различения. Легенда диаграммы представлена в нижней части виджета. Аналогично с предыдущим графиком, данный график периодически присылается в СПАЭ. Ось X – временная с единичным интервалом в 1 сутки, ось Y – значение электрической мощности в киловаттах. Также реализован управляющий элемент в виде тумблера. Он отвечает за включение резервного дизельного генератора. В ручном режиме взаимодействие с данным элементом разблокировано. При выборе автоматического режима управление блокируется и передаётся автономному контроллеру Системы. Но даже при заблокированном управлении индикатор может менять своё состояние, отражая таким образом состояние генератора.

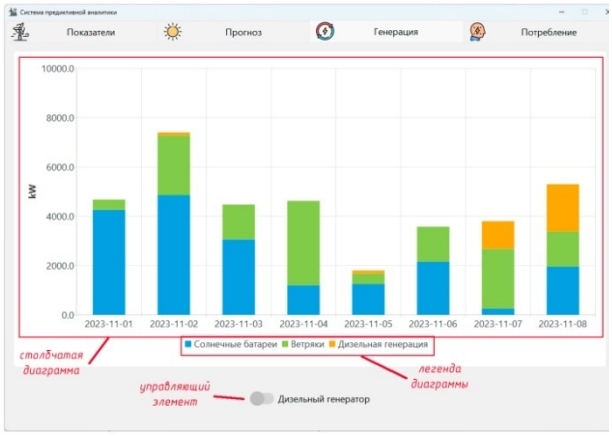


Рисунок 10 – Вид интерфейса модуля «Генерация»

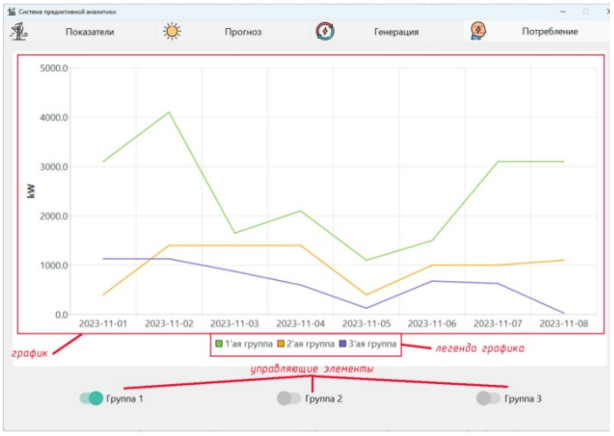


Рисунок 11 – Вид интерфейса модуля «Потребление»

Четвёртый модуль «Потребление» по своему предназначению схож с модулем «Генерация». На нем представлены исторические данные о потреблении электрической мощности, а также управляющий элемент, который переключает состояния выходных групп потребителей. График на данной вкладке представляет собой график с линиями (рисунок 11). Каждая линия представляет отдельную группу потребителей. Для удобства линии имеют разный цвет, а в нижней части виджета графика расположена легенда. По аналогии с предыдущими графиками, ось X – временная, ось Y-значение мощности в киловаттах. Источником данных для графика является сервер, который периодически присылает данные для его обновления. В качестве управляющих элементов здесь представлены 3 тумблера, каждый из которых отвечает за определённую группу потребителей. При выборе автоматического режима ручное управление блокируется, но статус тумблеров будет меняться при автоматическом переключении соответствующих выходных групп.

Функционал комплекса обеспечивает пользователю графическое представление о режимах распределения энергии на основе данных предиктивной аналитики.

6 Разработка протокола информационного взаимодействия

Для обеспечения коммуникации между всеми компонентами СПАЭ необходима унификация формата отправляемых сообщений и протокола их передачи [24, 25]. В качестве основного протокола передачи был выбран Transmission Control Protocol (TCP). Данный выбор обусловлен тем, что данный протокол гарантирует доставку пересылаемых сообщений, а также правильную очерёдность их получения. Для передачи сообщений между сервером и автономным контроллером используется методика байтовой сериализации пересылаемых сообщений. Это позволяет добиться минимизации объёма пересылаемых сообщений и позволяет обрабатывать их встроенными средствами языка программирования без использования сторонних библиотек. Кроме того, это обеспечивает более быструю обработку сообщений, по сравнению с остальными методиками инкапсуляции данных, так как не передаются лишние служебные объёмы данных, а лишь только полезная нагрузка.

Для передачи сообщений между СПАЭ и сервером в качестве формата сообщений был выбран формат JSON (Java Script Object Notation). Данный формат используется для сериализации сложных структур данных, которые, в отличие от сообщений, пересылаемых между сервером и контроллером, необходимо передавать между СПАЭ и сервером. Схематичная структура используемых протоколов представлена на рисунке 12.

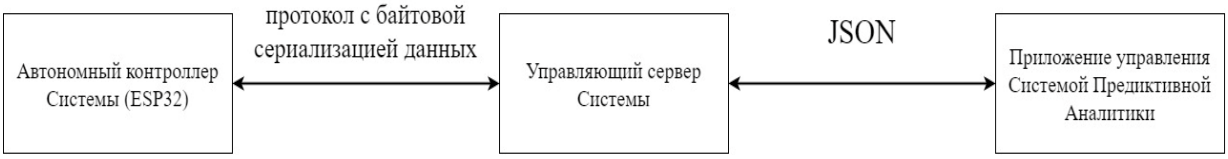


Рисунок 12 – Схема протоколов передачи данных в Системе

В случаях, когда содержание объекта данных может быть любым, предполагается, что при наличии каких-либо полей в объекте данных их форматирование соответствует синтаксису JSON. В запросе авторизации указываются логин и пароль оператора, указанные пользователем в полях формы стартового экрана авторизации. Данные от контроллера приходят для всех полей в единой посылке. У объекта данных есть поля, соответствующие каждому из элементов Системы. Каждое поле представляет собой массив, содержащий значения, представляющие какой-либо параметр, подлежащий выводу на экран. Все значения в данных JSON-массивах передаются как числа. Для статуса батареи предусмотрены числовые коды: 1 – заряжается, 0 – разряжается. В случае отсутствия какого-либо из полей оператору выводится сообщение об ошибке и сообщение не принимается к обработке. В запросе на переключение входных или выходных групп указывается номер реле. Для групп потребителей номером реле служит номер группы. Для дизельного генератора номер реле – 4. В поле statusпри включении группы записывается значение 1, а при выключении – значение 0. Для переключения режима необходимо передать номер включаемого режима. Данные для графиков передаются аналогично данным датчиков, поступающих от автономного контроллера. В единой посылке находятся значения для графиков на вкладках «Прогноз», «Генерация» и «Потребление».

На основе структуры классов и заданного информационного протокола можно составить обобщённую структурную схему обработки принимаемых JSON-документов СПАЭ (рисунок 13).

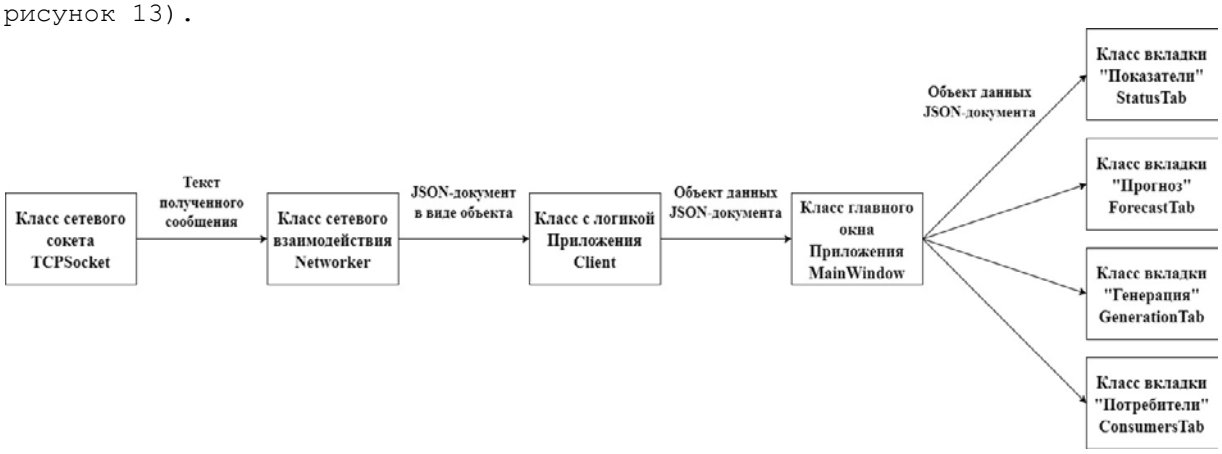


Рисунок 13 – Схема получения данных СПАЭ

Данные поступают в СПАЭ через Модуль сетевого взаимодействия, а именно объект класса сетевого сокета TCPSocket в виде набора байт. Данный объект декодирует полученную информацию и предоставляет текст получаемого сообщения, который передаётся объекту класса сетевого взаимодействия Networker.Он проверяет текст на соответствие формату JSON и преобразует его в объект класса JSONDocument.

Далее объект документа передаётся в Модуль общего управления – объект класса lient. Здесь определяется тип сообщения, происходят необходимые обработки и определяется дальнейшей класс-получатель. Из JSON-документа извлекается объект данных и передаётся в Интерфейсный модуль – объект класса главного интерфейса MainWindow. Данный объект также обрабатывает необходимые данные и передаёт объект данных объектам классов вкладок, которые уже выводят необходимую информацию на экран (рисунок 14).

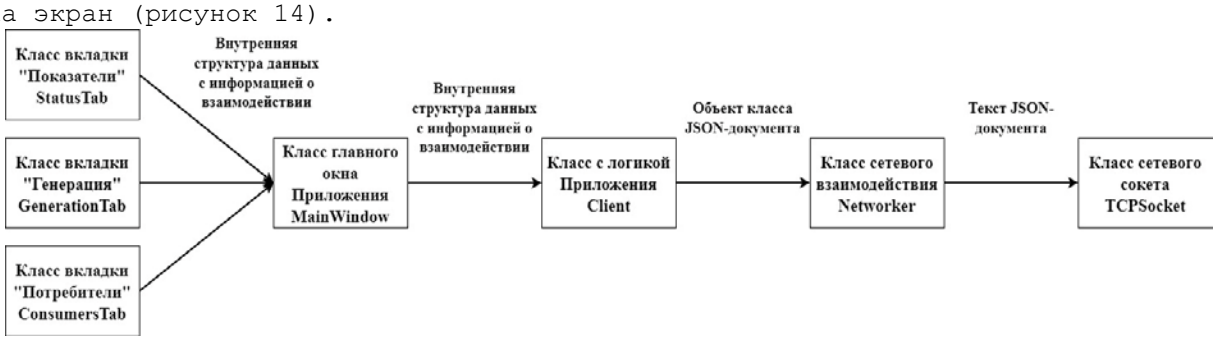


Рисунок 14 – Схема отправки данных СПАЭ

Источниками данных в схеме являются классы вкладок, так как именно они предоставляют информацию об управляющих командах оператора Системы. В целом, в данной схеме реализуется тот же поток обработки, что и в схеме для приёма, только в обратном направлении.

7 Анализ временной и пространственной сложности реализуемых алгоритмов

Согласно теории алгоритмов, для рассмотрения временной и пространственной сложности принято использовать нотацию O-большое. Она отражает асимптотическую сложность алгоритма или требуемую для его работы память и позволяет оценить, как при возрастании количества принятых данных изменяется время обработки этих данных и затраты по памяти [26]. Для некоторых алгоритмов также имеет смысл рассматривать асимптотическую временную сложность для трёх случаев: худшего, среднего и наилучшего. Эти три показателя описывают максимальное и минимальное время работы алгоритма, а также усреднённый показатель.

Одной из важных является работа «Получение данных от управляющего сервера системы», которая обеспечивает получение информации от сервера и её обработку. Производится декодирование, вызов внутренних обработчиков и отправка сигналов другим модулям комплекса. При поступлении сигнала о наличии новых данных в сетевом сокете Модуль сетевого взаимодействия Приложения считывает пришедшую информацию – это происходит в рамках работы «Чтение данных из сетевого сокета». На данном этапе информация представляет собой поток байт. Формат пересылаемых между сервером и СПАЭ сообщений жёстко стандартизирован протоколом информационного взаимодействия. В рамках сообщений одного типа длина не изменяется. Например, сообщение с информацией об успешности авторизации всегда имеет один и тот же размер. У сообщения с информацией об энергетических показателях Системы, которое сервер пересылает от контроллера размер тоже постоянен, но отличается от сообщений других типов.

Таким образом, асимптотическая временная сложность данной работы – O(n) во всех трёх случаях, где n–количество байт, занимаемых пересылаемым сообщением. Пространственная сложность работы – O(n), n–количество байт, занимаемых получаемым сообщением.

После прочтения всего потока байт, начинается работа «Декодирование данных». Данная работа преобразует массив байтов в нужную кодировку, используемую СПАЭ и сервером в рамках протокола информационного взаимодействия. Также на данном этапе происходит обработка полученной строки, которая по своей сути является JSON-документом. Если строка не соответствует данному формату, сообщение отбрасывается.

Время выполнения данной работы также зависит от длины пришедшего сообщения, сложность – O(n), где n–длина сообщения, в худшем, среднем и лучшем случае. Как уже было сказано, формат сообщений фиксирован и разработан таким образом, чтобы минимизировать время на обработку приходящей информации. Количество занимаемой памяти пропорционально объёму сообщения, поэтому асимптотическая пространственная сложность – O(n).

После окончания декодирования данных Модуль сетевого взаимодействия передаёт через Модуль маршрутизации данных Модулю общего управления декодированные данные. В данном модуле начинает выполняться работа «Проверка на корректность». На предыдущем этапе на сообщение проверялось на соответствие формату JSON, а на данном – на соответствие протоколу информационного взаимодействия.

Асимптотическая временная, так же, как и пространственная, сложность данной работы – O(n), где n–длина пришедшего сообщения.

При условии корректности сообщения, работа «Обработка поступивших данных» извлекает из JSON-документа необходимые поля и преобразует их во внутренний формат. Это сделано для ускорения передачи информации между модулями, так как передавать сразу поля быстрее, нежели весь JSON-документ со служебными полями. Также в данной работе принимается решение о необходимости передачи пришедших данных другим модулям.

Асимптотическая временная и пространственная сложность – O(n), где n–длина сообщения. Временная сложность сохраняется для всех трёх случаев.

Заключительным этапом является «Отправка сигнала о поступлении новых данных». По необходимости Модуль общего управления передаёт в Модуль маршрутизации данных сигнал с полезной нагрузкой в виде пришедших данных.

Несмотря на то, что на предыдущем этапе JSON-документ был переведён во внутреннее представление данных, время передачи данных между модулями все равно зависят от объёма сообщения. В данном случае асимптотическая сложность работы будет такой же – O(n), n–количество полей JSON-документа, однако коэффициент при nв данном случае будет меньше, и работа будет выполняться быстрее (таблица 2).

Асимптотические сложности составных работ работы «Получение данных от управляющего сервера Системы» Таблица 2

Имя работы	Худший случай	Средний случай	Лучший случай	Пространственная сложность
Чтение данных из сетевого сокета	O(n)	O(n)	O(n)	O(n)
Декодирование данных	O(n)	O(n)	O(n)	O(n)
Проверка на корректность	O(n)	O(n)	O(n)	O(n)
Обработка поступивших данных	O(n)	O(n)	O(n)	O(n)
Сигнал о поступлении новых данных	O(n)	O(n)	O(n)	O(n)
Вывод информации об ошибке	O(1)	O(1)	O(1)	O(1)

Пространственная сложность работы – O(n), n – количество полей JSON-документа, которые необходимо скопировать для передачи между модулями. Если на одном из предыдущих этапов возникает какая-либо ошибка, данные не будут идти по цепочке работ дальше. Оператору Системы на экран будет выведена ошибка, а полученная информация будет отброшена. Выводом информации на экран занимается работа «Вывод информации об ошибке». Она генерирует сигнал об ошибке, который передаётся через Модуль маршрутизации данных Интерфейсному модулю, который занимается выводом информации на экран. Асимптотическая временная и пространственная сложность данной работы – O(1), так как время её выполнения и объём затрачиваемой памяти не зависит от объёма получаемых данных.

Таким образом, большинство работ имеют линейную сложность O(n), что является хорошим показателем. Добиться лучших результатов не представляется возможным, так как сообщение, пришедшее от сервера, должно быть обработано полностью.

Заключение

Материалы работы иллюстрируют методику визуального системного проектирования комплексов предиктивной аналитики в энергетике. На начальных этапах системного проекта строится концептуально-абстрактная модель, которая представляет ключевой функционал комплекса и его основную структуру. Далее строится разработанная структурно-функциональная модель, которая детально описывает процесс работы СПАЭ. На верхнем уровне декомпозиции процесс работы представляется в виде контекстной диаграммы, являющейся моделью типа «чёрный ящик», отражающей как СПАЭ реагирует на входные воздействия, что управляет её работой, посредством чего происходит эта работа и что является её результатом. На следующем уровне декомпозиции более детально разбирается процесс работы СПАЭ. Заключительной является диаграмма дерева узлов. Она описывает перечень работ как иерархическую систему, без указания взаимосвязей между работами для упрощения понимания уровней работ.

Разработаны схемы потоков обработки данных. С их помощью возможно проследить, в каких узлах комплекса какие форматы данных принимаются и отправляются. Структура данных сообщений определяет протокол информационного взаимодействия, предназначенный для унификации передаваемых сообщений. Для всех сообщений поддерживается единая структура на верхнем уровне, что позволяет обеспечить удобную обработку приходящих сообщений классами.

Проведены оценки асимптотической и пространственной сложности алгоритмов работ комплекса, которые показали, что большинство работ имеют линейную сложность O(n), что является хорошим показателем.

Отдельные результаты получены в проекте «ПРИОР/СН/НУ/22/СП2/5» по Программе развития МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Strielkowski W., Vlasov A., Selivanov K., Muraviev K., Shakhnov V. Prospects and Challenges of the Machine Learning and Data-Driven Methodsfor the Predictive Analysis of Power Systems: A Review // Energies.2023.

2. Todorov G.N., Volkova E.E., Vlasov A.I., Nikitina N.I. Modeling energy-efficient consumption at industrial enterprises // International Journal of Energy Economics and Policy. 2019. V. 9. № 2. pp. 10-18.

3. Todorov G.N., Vlasov A.I., Volkova E.E., Osintseva M.A. Sustainability in local power supply systems of production facilities where there is the compensatory use of renewable energy sources // International Journal of Energy Economics and Policy. 2020. V. 10. № 3. pp. 14-23.

4. Berdyugina O.N., Krivoshein A.I., Vlasov A.I. Technological platform for innovative social infrastructure development on basis of smart machines and principles of internet of things // В сборнике: Proceedings - 2018 Global Smart Industry Conference, GloSIC 2018. 2018. N. 8570062.

5. Shakhnov V.A., Kurnosenko A.E., Demin A.A., Vlasov A.I. Industry 4.0 visual tools for digital twin system design // Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems. Proceedings of 4th Computational Methods in Systems and Software 2020. Vol.2. 2020. pp. 864-875.

6. Prudius A.A., Karpunin A.A., Vlasov A.I. Analysis of machine learning methods to improve efficiency of Big Data processing in Industry 4.0 // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V. 1333. N. 032065.

7. Selivanov K.V., Shakhnov V.A. Analysis of development trends of power industry market for power consumption purposes // ACM International Conference Proceeding Series. DEFIN 2021 2021. N. 3490878.

8. Selivanov K.V. Development trend of electrification and small-scale power generation sector in Russia // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2020. V. 641 LNEE. pp. 409-416.

9. Васильев И.А., Люминарская Е.С., Селиванов К.В. Гибридная энергетика как способ электрификации географически изолированных потребителей // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 4-2 (330). С. 154-160.

10. Adamova A., Selivanov K., Vlasov A. Development of Smart Grid technologies: organizational and communication aspects // E3S Web of Conferences. TRESP. 2021. N8001.

11. Artemiev B.V., Selivanov K.V., Mironov K.S., Isroilov J.O., Vlasov A.I. Predictive control algorithm for a variable load hybrid power system on the basis of power output forecast // International Journal of Energy Economics and Policy. 2022. V. 12. № 3. pp. 1-7.

12. Муравьев К.А., Селиванов К.В., Шестаков С.А. Анализ методов предиктивного анализа отказов сетевого оборудования // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2023. Т. 1. С. 292-298.

13. Муравьев К.А., Косьянов О.В. Методика предиктивного анализа отказов компонентов "интернета вещей" в условиях цифровой трансформации // Цифровая трансформация в энергетике. Материалы Четвертой Международной научной конференции. 2023. С. 80-82.

14. Muraviev K.A., Prudius A.A., Uzenkov D.A., Vlasov A.I. Load balancing in Big Data processing systems // International Review of Automatic Control. 2019. V. 12. № 1. pp. 42-47.

15. Власов А.И., Марикова Е.А. Анализ методов визуального моделирования сложных систем // Динамика сложных систем - XXI век. 2020. Т. 14. № 3.С. 5-22.

16. Vlasov A.I., Shakhnov V.A. Visual Methodology for The Assessment of Industrial Digital Transformation Components // LectureNotes in Information Systems and Organisation. DTI-TMS. 2021. pp. 57-65.

17. Маклаков С. В. BPwin и ERwin: CASE-средства для разработки информационных систем. – М.: Диалог-МИФИ, 2000г. – 304с.

18. Власов А.И., Журавлева Л.В. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). С. 133-140.

19. Федоров Н.В. Проектирование информационных систем на основе современных CASE-технологий / Н.В. Федоров. – М.: МГИУ, 2008. – 280 с.

20. Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум. М.: Финансы и статистика, 2006. – 192с.

21. Садыхова Ж.И. Энергетическое будущее России и мира // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2017. Т. 2. С. 319-322.

22. Toomsalu L., Tolmacheva S., Vlasov A., Chernova V. Determinants of innovations in small and medium enterprises: a european and international experience // Terra Economicus. 2019. V. 17. № 2. pp. 112-123.

23. Селиванов К.В., Власов А.И., Налимов Н.А. Программный комплекс Управления Состоянием Системы по Прогнозу Приходящей Мощности // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021661541, 13.07.2021. Заявка № 2021660765 от 07.07.2021.

24. Внуков Н.С., Селиванов К.В. Методика эффективного проектирования высокоскоростных интерфейсов // Технологии инженерных и информационных систем. 2020. № 2. С. 14-27.

25. Латыпова В.А., Волков А.С., Муравьев К.А., Кривошеин А.И. Анализ протоколов передачи данных с позиции пропускной способности // Технологии инженерных и информационных систем. 2021. № 4. С. 42-51.

26. Карпов Ю.Г., Трифонов П.В. Сложность алгоритмов и программ // Компьютерные инструменты в образовании. 2007. №6. С. 3 - 10.

УДК: 658.512.22

Кокорев[1] А.С., Терентьев[2] Д.С.

[1,2] Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

[1] kokorevalexserg@gmail.com

[2] terentev.touchtechn@gmail.com

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ СЕНСОРНЫХ ЭКРАНОВ

Аннотация. В работе дается общий обзор реализации сенсорных технологий и варианты применения сенсорных экранов в различных сферах. Основное внимание уделено сравнительному анализу спектра решений в этой области. Подробно рассмотрены различные технологии, применяемые в конструкции сенсорных экранов. Предложена классификация сенсорных экранов по типам применяемых технологий. Подробно описан механизм работы сенсорных экранов каждой представленной технологии и их популярных вариаций. Определены преимущества и недостатки для каждого типа устройств. Проанализированы сферы использования каждого вида сенсорных экранов. Основное внимание уделено таким технологиям, как резистивные сенсорные экраны, матричные сенсорные экраны, емкостные сенсорные экраны, инфракрасные сенсорные рамки, оптические сенсорные экраны, индукционные сенсорные экраны, тензометрические сенсорные экраны, DST-экраны.

Ключевые слова: сенсорный экран, резистивные сенсорные экраны, матричные сенсорные экраны, емкостные сенсорные экраны, инфракрасные сенсорные рамки, оптические сенсорные экраны, индукционные сенсорные экраны, тензометрические сенсорные экраны, DST-экраны

Kokorev[1] A.S., Terentyev[2] D.S.

[1,2] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

[1] kokorevalexserg@gmail.com

[2] terentev.touchtechn@gmail.com

ANALYSIS OF APPLICABILITY OF TOUCH SCREENS

Annotation. The paper provides a general overview of the implementation of touch technologies and options for using touch screens in various fields. The main attention is paid to a comparative analysis of the range of solutions in this area. The various technologies used in the design of touch screens are discussed in detail. A classification of touch screens according to the types of technologies used is proposed. The mechanism of operation of touch screens for each technology presented and their popular variations is described in detail. The advantages and disadvantages for each type of device are defined. The areas of use of each type of touch screens are analyzed. The main focus is on technologies such as: resistive touch screens, matrix touch screens, capacitive touch screens, infrared touch frames, optical touch screens, inductive touch screens, strain gauge touch screens, DST screens.

Keywords: ouch screen, resistive touch screens, matrix touch screens, capacitive touch screens, IR screens, infrared touch frames, optical touch screens, inductive touch screens, strain gauge touch screens, DST screens

Введение

Сенсорные экраны в настоящее время стали неотъемлемой частью цифровой трансформации, эффективным элементом ввода/вывода информации для встраиваемых систем [1, 2]. Развитие сенсорных технологий позволило создавать различные типы сенсорных экранов, применимых в той или иной сфере деятельности: смартфоны, ноутбуки [3], банкоматы, терминалы оплаты, кассы самообслуживания, информационные панели [5], автомобильные медиацентры [6], органы управления поездами и авиацией [7, 8], промышленное оборудование и средства управления целыми предприятиями [9, 10].

Сенсорные экраны – устройство ввода информации, экран, реагирующий на прикосновение или нажатие, с возможностью определения положения нажатия для управления тем или иным интерфейсом.

Изначально сенсорные экраны стали особо популярными в носимой электронике, став чуть ли не обязательной частью любого многофункционального компактного электронного устройства [2].

Позже, с развитием технологии сенсорных экранов и началом цифровизации промышленной сферы, сенсорные экраны стали внедряться в производство, бизнес и транспортную отрасль [4].

Существует множество вариантов реализации сенсорного экрана, каждая из которых имеет как преимущества, так и недостатки [7].

В зависимости от технологии сенсорные экраны способны поддерживать технологию MultiTouch (определение множественного нажатия) и определять силу нажатия на поверхность экрана.

Целью данной работы является классификации и обзор существующих технологий сенсорных экранов, анализ принципов их работы, сравнительный анализ достоинств и недостатков и обзор областей применения различных типов сенсорных экранов.

Проводится обобщение данных консалтинговых компаний, таких как «Mordor Intelligence», «Allied Market Research», «Apricitas Economics» и отчета

отечественного производителя промышленного оборудования «Touch Games», что позволило проанализировать основные тенденции мирового рынка сенсорных экранов.

Материалы приведенного анализа позволят разработчикам электронных устройств, определиться с подходящими для них типами сенсорных экранов, внедряемых в встраиваемые устройства электроники.

1. Классификация сенсорных экранов

Сенсорный экран в целом - это экран, обладающий свойством, придающим ему сенсорное свойство. Классификация сенсорных экранов базируется на технологиях, которые применяются в его работе.

В данный момент существуют четыре основных принципа функционирования сенсорного экрана: резистивный [11], емкостной [12-16], на основе поверхностно-акустических волн [17] и оптический [7]. Альтернативные технологии реализации сенсорных экранов подробно исследованы в [18]. В последнее время появились технологии реализации сенсорных экранов на основе использования свойств графена [19]. На этих принципах основывается разнообразие конструкций сенсорных экранов. Обобщенная классификация сенсорных экранов представлена на рисунке 1.

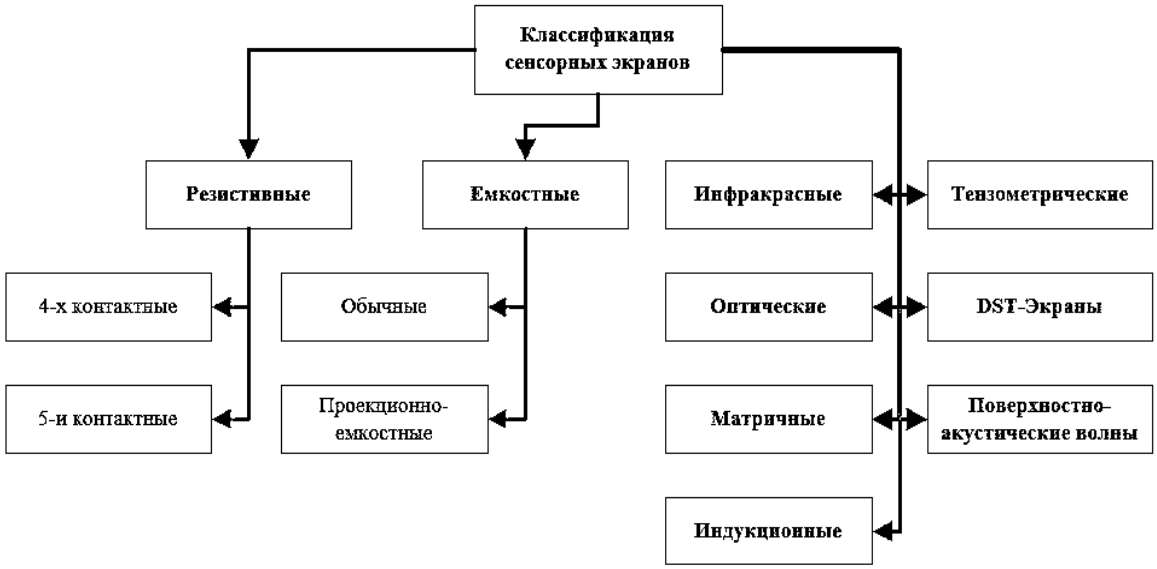


Рисунок 1 - Классификация сенсорных экранов

Самые популярные на текущий момент технологии - резистивные и емкостные. Резистивный сенсорный экран состоит из стеклянной или акриловой пластины, на которую нанесены токопроводящие слои. Слои разделены прозрачными прокладками, которые предохраняют цепи вертикальных и горизонтальных проводников от соприкосновения. В момент нажатия на сенсорную панель прокладка деформируется, цепи проводников в токопроводящих слоях замыкаются и контроллер фиксирует проходящий между ними электрический сигнал. Координаты нажатия определяются на основании порядковых номеров цепей в каждом слое.

В работе емкостного экрана помимо механической (деформации) используется и электрическая составляющая касания [12-16]. До нажатия экран обладает некоторым электрическим зарядом. Прикосновение пальца, или любого другого токопроводящего предмета, меняет картину заряженности, «оттягивая» часть заряда к точке нажатия. Датчики, расположенные по четырем углам экрана, следят за состоянием заряда в экране, определяя, координаты тока утечки. Емкостные экраны также отличаются более высокой надежностью (до миллиарда нажатий в одно и то же место), чем резистивные (в них отсутствуют гибкие прокладки) и высокой степенью прозрачности, однако они чувствительны к электромагнитным помехам [20-22]. Важным вопросом является выбор контроллера управления сенсорным экраном [23-26].

2. Резистивные сенсорные экраны

2.1 Анализ резистивных сенсорных экранов

Резистивные сенсорные экраны некогда наиболее используемый тип экранов, что было обусловлено низкой стоимостью производства, на данный момент уступили первенство емкостным экранам [11, 27-29].

У резистивного сенсорного экрана чувствительная к нажатиям панель собрана из стеклянной или акриловой пластины-основы и гибкой пластиковой мембраны. Изнутри и пластина-основа и мембрана покрыты тонкими проводниками с высоким удельным сопротивлением от 50 до 1000 Ом, а внутреннее пространство заполнено

изоляторами, равномерно расположенными между каждым проводником. Проводники основы и мембраны расположены перпендикулярно друг - другу.

При нажатии на такой экран любым твердым предметом, в месте касания перекрестные дорожки на мембране и основе замыкаются, после чего контроллер вычисляет координаты касания через изменение сопротивления.

Тонкие мембраны резистивных сенсорных экранов выдерживают несколько миллионов нажатий в одну точку, после чего мембрана изнашивается и может выдавать ложные значения.

Помимо рассмотренных ранее существуют также восьми - проводная технология (в этом случае электроды крепятся к каждой из четырех сторон подложки и мембраны), и семи - проводная, однако главное преимущество технологии резистивного сенсорного экрана - дешевизна, поэтому используются такие решения довольно редко по причине более высокой стоимости и применялась в Hi - End электронике (смартфонах, планшетах) до появления массовых образцов проекционно-емкостных сенсорных экранов.

К достоинствам резистивных сенсорных экранов относят:

- низкую стоимость производства.
- использование различных методов взаимодействия (палец, стилус, перо).

К недостаткам резистивных сенсорных экранов относят:

- низкую надежность: самые простые и дешевые: четырех – контактные, выдерживают до 3 миллионов нажатий в одну точку, пяти - контактные до 35 миллионов [11].
- низкое светопропускание: не более 70-85 %, из-за чего требуется повышенная яркость подсветки [11].

Данная технология подходит для простой потребительской техники. Примеры использования: Сенсорные панели ноутбуков, автомобильные приборные панели, панели бытовой техники.

2.2 Четырех – контактные резистивные сенсорные экраны

Четырех – контактные резистивные экраны состоят из двух слоев (рисунок 2). Верхний слой – полиэстеровый, изготавливаемый с различной обработкой поверхности, либо стеклянная пластина с гибкой сенсорной пластиковой мембраной. Резистивное покрытие нанесено как на пластину, так и на мембрану. Пространство между мембраной и пластиной заполнено изолятором. Слой из точечных элементов, находящийся между стеклянной пластиной и проводящим покрытием, может выпускаться в различных конфигурациях точечного массива, оптимизированных под определенные способы ввода или ориентированные на универсальность. Нижний слой – стекло с проводящим покрытием может быть различной толщины, зависящей от размеров экрана.

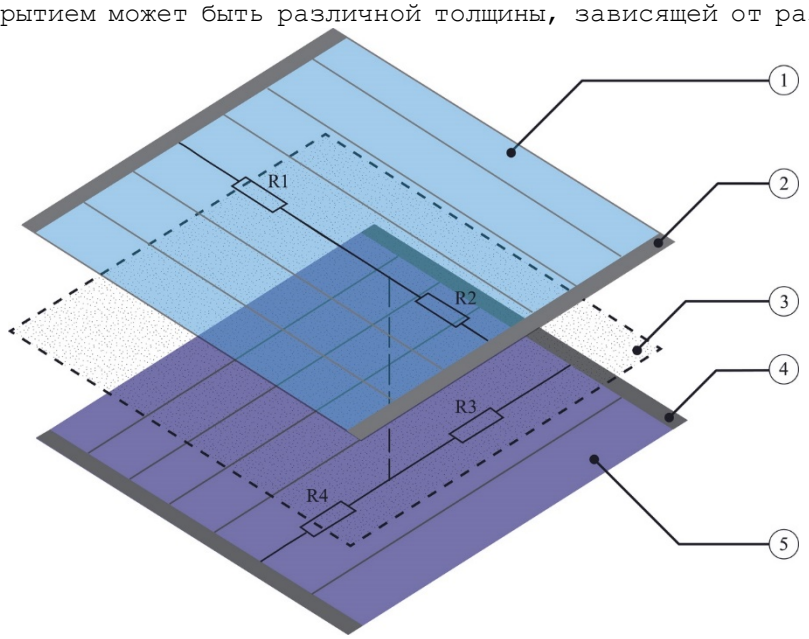


Рисунок 2 – Схема четырех-контактного резистивного сенсорного экрана (1 – мембрана, 2 – верхний проводящий слой, 3 – изолирующий слой, 4 – нижний проводящий слой, 5 – стеклянная пластина)

Верхний слой используют для создания плоскости напряжения и получения первой координаты точки касания. Когда пользователь нажимает на экран, верхний слой электрически заряжается, а нижний слой передает электронике напряжение в точке касания. Затем нижний слой формирует градиент напряжения и получает вторую координату точки касания, после чего верхний слой посылает информацию о напряжении в управляющий контроллер, который определяет обе координаты точки касания.

Обработка нажатия осуществляется при помощи последовательного опроса проводников. Во время нажатия на мембрану замыкаются резистивные покрытия и специальный контроллер определяет порядковые номера замкнутых горизонтального и вертикального электрода, преобразуя эти номера в координаты. Из-за постоянной механической деформации мембраны такая конструкция выдерживает порядка нескольких миллионов нажатий в одной точке.

2.3 Пяти - контактные резистивные сенсорные экраны

Пяти - контактный резистивный сенсорный экран - версия резистивного сенсорного экрана, у которого на мембране резистивное покрытие заменено проводящим, следовательно, мембрана не применяется для определения точки касания, так как является монолитным проводником и не потеряет работоспособность при получении повреждений. Резистивное покрытие нанесено на стекле, а четыре электрода размещены по углам. Во время нажатия на мембрану микропроцессор отслеживает напряжения между местом нажатия на мембране и угловыми электродами на стекле, определяя по ним координаты точки нажатия.

Принцип действия прост: изначально все четыре электрода заземлены, а на мембране через резистор выставлено определённое значение напряжения, типовыми являются +5В и +3.3В. Напряжение на мембране постоянно отслеживается аналогово-цифровым преобразователем. Когда нажатие на сенсорный экран отсутствует, напряжение равно выставленному, а при нажатии на экран - понижается.

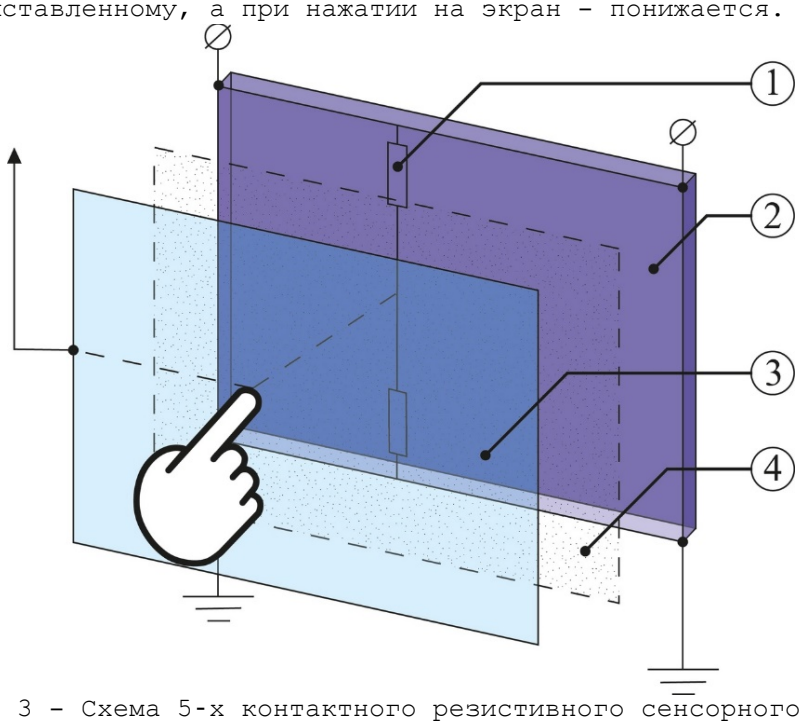


Рисунок 3 - Схема 5-х контактного резистивного сенсорного экрана (1- резистивное покрытие, 2-стеклянная панель, 3 - мембрана с проводящим покрытием, 4- изолирующий наполнитель)

Также пяти - контактная резистивная сенсорная панель, в отличии от четырех - контактной, обладает ещё одним преимуществом: так как на мембране резистивный слой заменён на токопроводящий, мембрана выступает исключительно в роли простого проводника. Повреждения на мембране практически не влияют на ее свойства, и, как следствие, резко возрастает надёжность такого резистивного экрана и количество возможных нажатий в одну точку. Количество нажатий до выхода из строя увеличивается с 10 до 35 миллионов раз [11].

3. Матричные сенсорные экраны

Матричные сенсорные экраны конструктивно схожи с резистивными сенсорными экранами. На стекло нанесены горизонтальные проводники, на мембрану - вертикальные. При нажатии на экран проводники замыкаются. Контроллер определяет, какие проводники замкнулись, рассчитывает координаты нажатия и передаёт их в микропроцессор. Матричный сенсорный экран обычно соединяется с микроконтроллером через его параллельный порт и используется как кнопочная панель, в которой проводники играют роль механических кнопок. Такое решение имеет как свои преимущества, так и недостатки.

Конструктивно такой набор сенсорных ключей представляет собой пластиковую поверхность с нанесёнными на неё прозрачными контактами. Слой гибких распорок расположен между металлическими контактами на поверхности пластиковой панели. Завершает сборку гибкий слой майларовой пленки со второй группой контактов,

нанесенных на нее. Контакты одного слоя соединены вместе столбцами, другого слоя – строками. Строки и столбцы выведены на контакты внешнего разъёма.

Главным и единственным преимуществом матричных сенсорных экранов является простота, а следовательно, и дешевизна производства.

К недостаткам следует отнести крайне низкую точность, из-за чего элементы интерфейса приходится специально располагать с учётом клеток – точек пересечения проводников матричного экрана.

Обычно матричные экраны, аналогично матрице кнопок, подключаются к последовательному порту микроконтроллера, что позволяет опрашивать нажатия по строкам, обрабатывая одновременные нажатия ячеек (кнопок) экрана.

Матричные сенсорные экраны часто применяются в бытовой технике.

4. Емкостные сенсорные экраны

4.1. Поверхностно-емкостные сенсорные экраны

Поверхностно-емкостные сенсорные экраны один из самых популярных типов сенсорных экранов. В отличие от более ранних резистивных экранов, емкостные основаны на измерении емкости, возникающей между предметом воздействия на экран и самим экраном (рисунок 4). Емкостный сенсорный экран бывает двух технологий - поверхностно-емкостный и проекционно-емкостный [12-16].

Поверхностно-емкостный экран представляет собой стеклянную пластину, на поверхность которой нанесено тонкое прозрачное проводящее покрытие или сетка тонких проводников, поверх которого наносится защитное покрытие. По периметру экрана между проводящим и защитным покрытиями расположены печатные проводники, равномерно распределяющие низковольтное электрическое поле по проводящему покрытию [12-16].

При нажатии на экран образуется импульс тока в точке контакта, величина которого пропорциональна расстоянию отточки нажатия до каждого угла экрана, на основании которых вычисляются координаты места нажатия. Следовательно, емкостные сенсорные экраны, в отличие от резистивных, не требуют механической деформации поверхности экрана.

В более ранних моделях емкостных экранов применялся постоянный ток, что упрощало конструкцию, но при плохом контакте пользователя с землей приводило к сбоям.

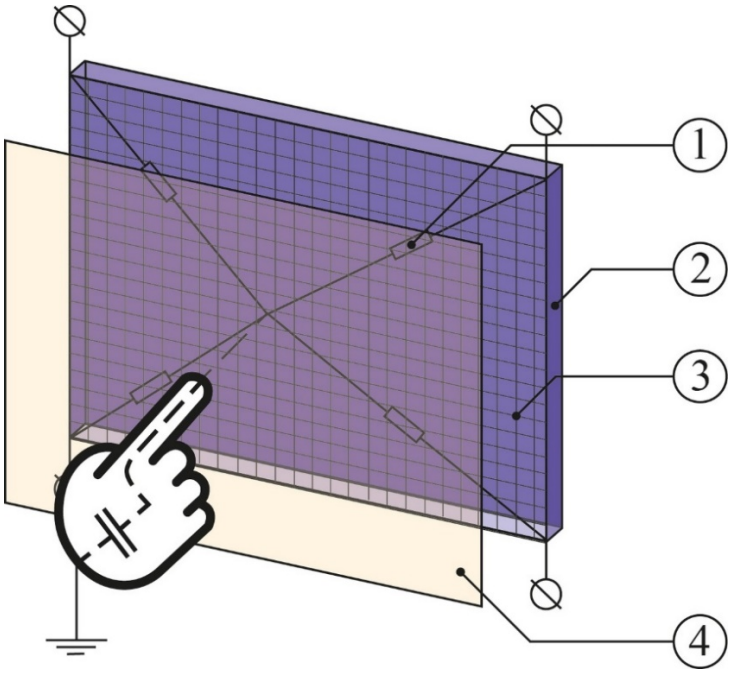


Рисунок 4 – Схема поверхностно-емкостного сенсорного экрана (1 – условное обозначение сопротивления между точкой нажатия и угловым контактом, 2 – стеклянная пластина, 3 – сетка проводников, 4 – защитное покрытие)

Из достоинств поверхностно-емкостных экранов можно отметить:

- хорошее светопропускание.
- малое время отклика и большой ресурс касаний.

Из недостатков:

- размещенные по бокам электроды плохо подходят для мобильных устройств.
- требователен к внешней температуре.
- не поддерживает MultiTouch.

Взаимодействовать с такими экранами можно пальцами или специальным токопроводящим стилусом.

Отдельным вариантом поверхностно-емкостного экрана можно выделить сенсорные пленки. В таком случае жесткие элементы конструкции, в частности стеклянные панели и мембраны, заменяются на пленки. Такие пленки применяются для переоборудования уже произведенных обычных дисплеев в сенсорные экраны.

4.2. Проекционно-емкостные сенсорные экраны

Проекционно-емкостные сенсорные экраны на данный момент самая широко применяемая технология [12-16].

Они представляют собой стеклянную пластину с нанесенными на него горизонтальными проводниками и вертикальными определяющими проводниками, разделенные слоем диэлектрика.

Проекционно-емкостные экраны обладают возможностью распознавания одновременного нажатия в двух и более точках (MultiTouch).

Технология производства разделяется на две разновидности - на базе прозрачных полупроводников оксидов индия и олова (ITO) и на основе сеток металлической микропроволоки (metal-mesh).

Технология ITO в основном применяется в мобильной электронике с диагоналями экрана до 10 дюймов, обладает высокой устойчивостью к электромагнитным наводкам, но имеет высокую себестоимость при диагоналях большего размера и не может работать сквозь толстое защитное стекло. Для реализации MultiTouch в ITO необходима дополнительная система датчиков, что делает производство таких экранов дороже.

Технология Metal-mesh наоборот - дорогие при производстве экранов малого размера, но с увеличением диагонали становятся более дешёвые. Metal-mesh могут работать сквозь защитное стекло, но имеют высокую восприимчивость к электромагнитным наводкам, особенно при больших диагоналях (32-85 дюймов).

Кроме того, проекционно-емкостные сенсоры разделяются на два принципа распознавания изменения емкости - self-capacitance (собственная емкость) и mutual-capacitance (обычно применяется в ITO).

Технология следующая: на стеклянную пластину наносится два слоя проводников, разделенных диэлектриком и формирующие решетку (проводники в слоях расположены перпендикулярно). В месте нажима между пальцем или иным средством ввода и сеткой проводников образуется емкость, контроллер улавливает это, и определяет координаты точки нажатия [12-16].

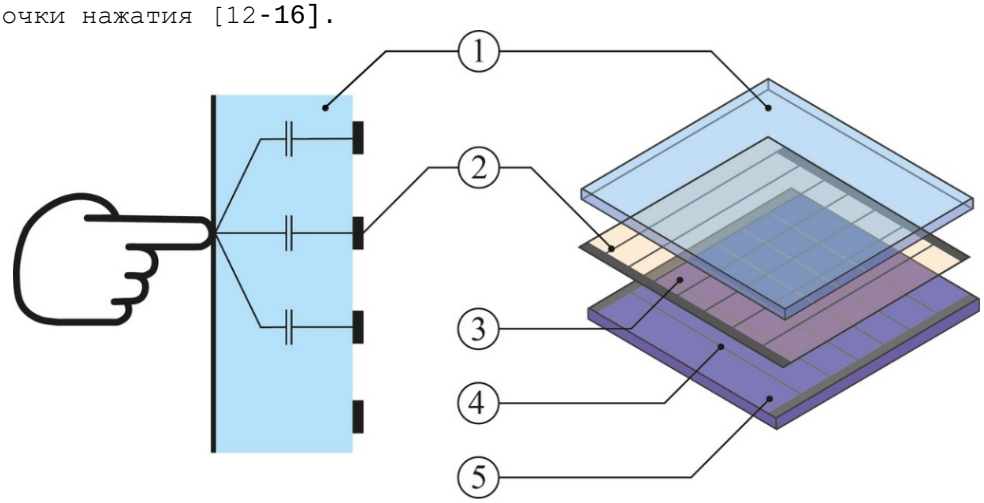


Рисунок 5 – Схема проекционно-емкостного сенсорного экрана (1 – стеклянная пластина – защитный слой, 2 – слой диэлектрика, 3 – слой вертикальных проводников, 4 – слой горизонтальных проводников, 5 – стеклянная пластина – подложка)

Проекционно-емкостные экраны также имеют высокую прозрачность (90%-92%) и способны работать при низких температурах (до - 40 °С) [12-16]. Загрязнения, проводящие электрический ток, влияют на них в меньшей степени, чем обычные емкостные. Высокая чувствительность позволяет использовать для защиты проекционно-емкостных экранов толстый слой стекла. Бывают емкостные сенсорные стёкла и плёнки, в зависимости от того, куда наносится сенсорный слой электродов из ITO или микропроволоки.

Главными преимуществами проекционно-емкостного экрана по сравнению с поверхностно-емкостным сенсорным экраном являются:

- реализация технологии MultiTouch.
- возможность использования защиты экрана в виде слоя стекла и взаимодействие с экраном не только голыми руками, но и через перчатки или токопроводящим пером.

Применяются емкостные сенсорные экраны в потребительской технике (смартфоны, ноутбуки) и терминалах массового использования (терминалы продажи билетов, банкоматы, кассы самообслуживания, информационные стенды и т.д.).

5. Инфракрасные сенсорные рамки

В данных сенсорных экранах (их называют также сенсорные рамки, ИК-рамки) для определения точки нажатия используются ленты светодиодов и оптодиодов расположенных на противоположных гранях экрана и образующих оптопары [27-29]. Вторая пара лент располагается на перпендикулярных гранях, а вместе два комплекта оптопар образуют сетку.

Определение точки нажатия происходит следующим образом: светодиод излучает невидимый для человека свет (чаще всего инфракрасный) в пределах очень небольшого угла, чтобы попасть на «свой» фотодиод. Любое препятствие (палец, указка), частично или полностью перекрывающее световой луч, приводит к уменьшению или прекращению электрического тока через соответствующий фотодиод. Контроллер определяет какие фотодиоды перестали получать сигнал и определяет координаты нажатия.

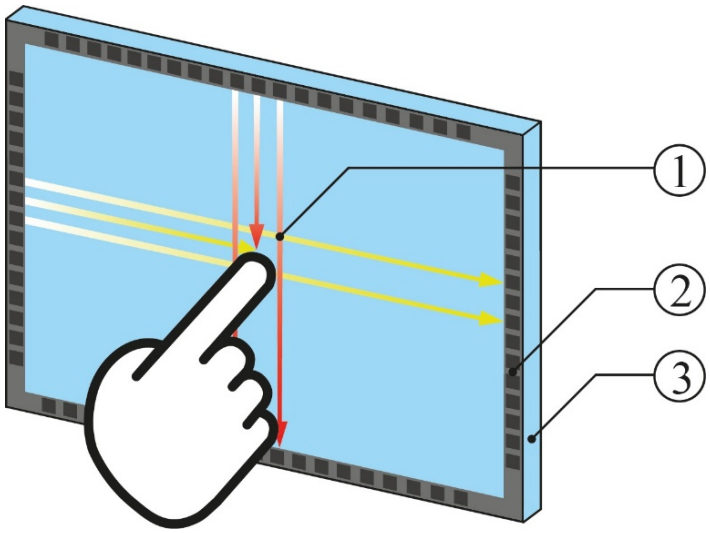


Рисунок 6 – Схема инфракрасного сенсорного экрана (1 – инфракрасные лучи, 2 – инфракрасная рамка, 3 – дисплей)

Технология сенсорных рамок не подходит для изготовления экранов малого размера, но отлично подходит для крупных, основной размерный ряд: 32, 42/43, 55, 65 дюймов.

Поскольку сенсорные рамки не требуют встраивания непосредственно в сам экран, их можно производить отдельно и использовать отдельно как механизм взаимодействия с дисплеем, например для превращения современных телевизоров полноценный сенсорный экран.

Из достоинств инфракрасных рамок можно отметить:

- высокую прозрачность экрана – сенсорные рамки работают в инфракрасном диапазоне света и не препятствуют выводу изображения.
- долговечность, простоту и ремонтопригодность схемы.
- дешевизну – для производства сенсорных рамок не нужны сложные технологии напыления токопроводящих или резистивных материалов.
- универсальность – инфракрасные рамки можно производить отдельно от дисплеев, и использовать одну рамку для разных дисплеев одного размера.
- поддержка MultiTouch технологии.

Из недостатков:

- боятся загрязнения (поэтому используются только в помещении)
- не могут определять силу нажатия.
- средняя, относительно других технологий, точность определения координат, зависящая от параметров ИК рамки.
- инфракрасные рамки требуют наличие рамки поверх экрана, что подходит только для крупных экранов.

Кроме конструкции с использованием неподвижных инфракрасных оптопар (ленты оптопар), существует также ИК-сенсор с механизмом развёртки луча.

В такой конструкции используется один источник ИК-излучения (светодиод либо полупроводниковый лазер) и механизм развертки, который обеспечивает движение луча, с высокой скоростью сканирующего рабочую поверхность. При отсутствии препятствия луч рассеивается. Если же на пути луча встречается какое-либо

препятствие, то луч отражается от него и улавливается фотодиодом. По изменению состояния фотодиода контроллер фиксирует касание в соответствующей точке.

Такая технология редко используется с дисплеем. Чаще всего устройства с механизмом развертки луча обладают встроенным проектором для отображения интерфейса.

Из-за сложности конструкции механизма развертки луча и требование наличия выступающей части для обеспечения достаточного угла для проецирования луча на поверхность дисплея, такая технология непопулярна в потребительской электронике.

6. Оптические сенсорные экраны

6.1. Регистрация прикосновения с помощью оптических сенсоров

Оптические сенсорные экраны [7], виду высокой сложности и стоимости производства, не пользуются высоким спросом: доля оптических сенсорных панелей на сегодняшний день составляет всего около 3% от общего числа сенсоров.

Оптический экран представляет собой стеклянную панель с инфракрасной подсветкой. Определение нажатия строится на эффекте рассеивания света на границе двух сред (стекла и нажимающего объекта).

Чтобы получить картину рассеяния для определения точки нажатия, используют либо регистрацию прикосновения с помощью оптических сенсоров, либо рядом с проектором устанавливается камера.

Целевое использование оптических сенсорных экранов: доски для презентаций, сенсорные столы для совещаний.

Реализация технологии регистрации прикосновения с помощью оптических сенсоров следующая: на трех торцах стеклянной пластины установлены источники инфракрасного излучения (массивы инфракрасных светодиодов), а в двух углах располагаются оптические сенсоры считывающие картину рассеивания.

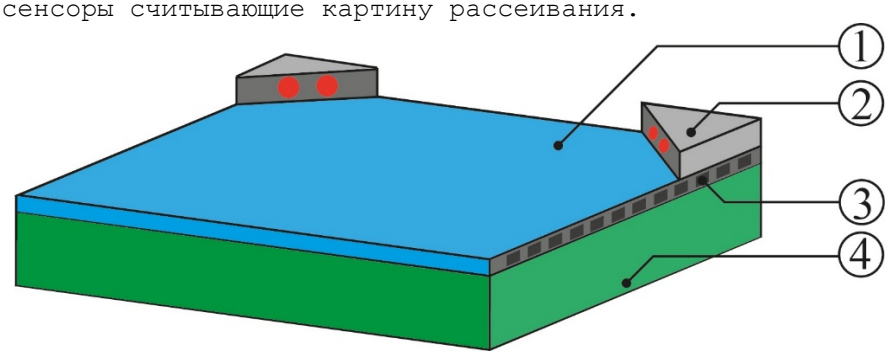


Рисунок 7 – Регистрация прикосновения с помощью оптических сенсоров (1 – стекло,2 – оптические сенсоры, 3 – источники инфракрасного излучения, 4 – дисплей)

При нажатии на поверхность пальцем или каким-либо предметом меняется картина распространения инфракрасного излучения. Эти изменения считываются оптическими сенсорами, по показаниям которых контроллер рассчитывает координаты точки нажатия. Сенсорные панели данной конструкции наилучшим образом подходят для оснащения дисплеев с большой диагональю экрана (от 20 дюймов и более).

6.2.Оптические сенсоры на базе видеокамер

Для придания сенсорных свойств в устройствах, изображение на дисплее которых формируется методом обратной проекции, может быть использован оптический сенсор на базе видеокамер, способных захватывать свет в ИК-диапазоне.

Для данной камеры изображение на экране не является помехой, поскольку оно проецируется в видимом спектре и камеры его не воспринимает.

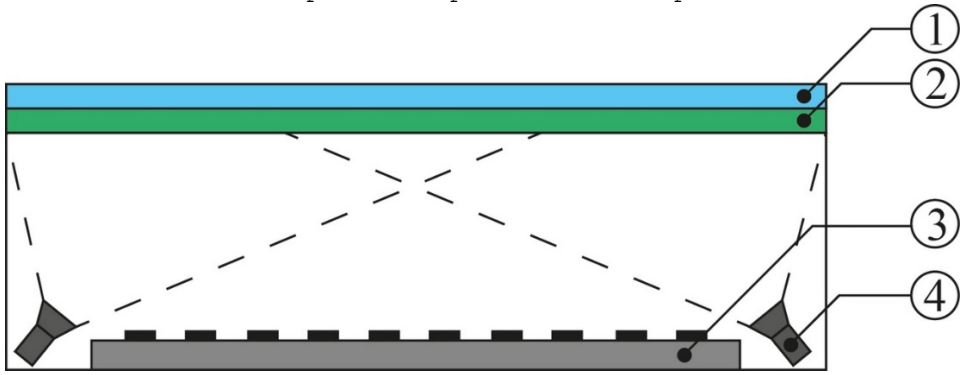


Рисунок 8 – Оптические сенсоры на базе видеокамер (1 – стекло, 2 – дисплей, 3 – инфракрасная подсветка, 4 – камеры)

Внутренняя поверхность экрана подсвечивается инфракрасными лучами. В случае появления на поверхности экрана каких-либо предметов лучи отражаются от появившегося препятствия, и камеры фиксирует картинку с отраженным светом. После программной обработки на микроконтроллере высчитываются координаты точки нажатия.

Для базовой работы таких экранов достаточно одной камеры, но для увеличения точности и использования дополнительных возможностей устанавливают большее количество.

Помимо регистрации нажатий и распознавания жестов камеры обеспечивают работу системы распознавания специальных предметов. Нижнюю сторону таких предметов наносятся миниатюрные черно-белые метки, по которым программное обеспечение может определить тип предмета и автоматически выполнить предзаписанную функцию, например, открыть нужный документ, запустить нужное приложение и т.д.

7. Индукционные сенсорные экраны

Индукционный сенсорный экран – это сенсорная технология, основанная на индуктивной чувствительности резонансных катушек, при этом такие экраны не могут управляться пальцем руки и реагируют только на специальное перо [27-29]. Примерами таких экранов служат профессиональные художественные планшеты и некоторые модели планшетных ПК. Индуктивная чувствительность обусловлена использованием трёх резонансных катушек индуктивности. Одна из них расположена в наконечнике тактильного пера или стилусе, которая образует в нём резонансный контур, а две другие – внутри сенсорной панели.

Стоит подчеркнуть, что индукционная схема сенсорного экрана нацелена именно на определение точного положения и силы одного нажатия, для дополнения таких экранов технологией MultiTouch используют гибридную схему с проекционно - емкостным слоем.

Существуют различные технические решения этой задачи, такие как:

- электростатический – метод, в котором положение пера регистрируется на основе изменения электростатического потенциала проводников приемных катушек.
- электромагнитный – метод, при котором перо излучают электромагнитные волны, а сетка работает как приемная антенна.
- электромагнитного резонанса – в этом методе, в отличии от двух предыдущих, на перо не нужно подавать питание. Сигнал, излучаемый индуктивными катушками, служит как для передачи сигнала, так и для питания схемы пера. Принятый пером сигнал обрабатывается контроллером пера, включает в себя дополнительную информацию и отправляется обратно на антенну экрана. Рассмотрим последнюю схему работы как одну из наиболее практичных (рисунок 9).

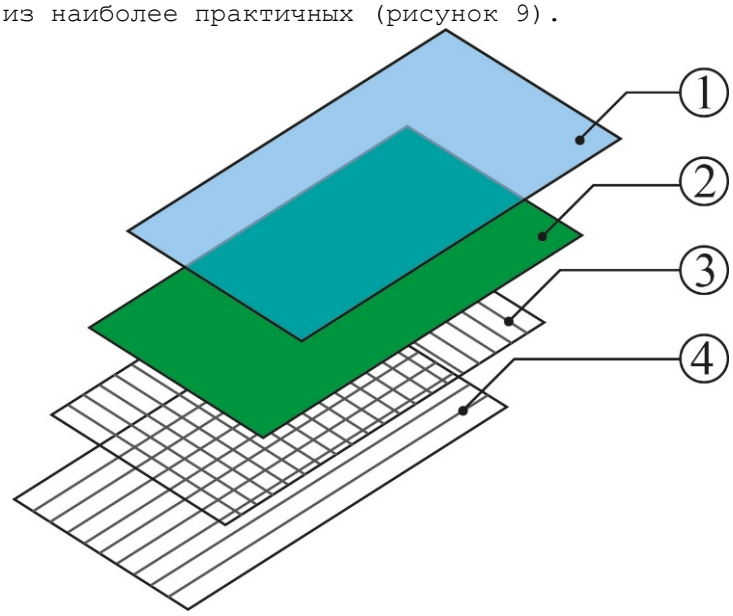


Рисунок 9 – Схема индукционного сенсорного экрана (1 – защитное стекло, 2 – дисплей, 3 – антенна для определения координат по вертикали, 4 – антенна для определения координат по горизонтали)

По всей поверхности сенсорного экрана располагается специальная приемно-передающая антенна. Каждые 20 микросекунд антенна отправляет сигнал перу, в котором также имеется приемо-передающая антенна. Из этого сигнала перо изымает достаточное количество энергии, чтобы запитать микропроцессор, если таковой имеется, и отправить ответный сигнал. Таким образом, за счет явления электромагнитной индукции, осуществляется беспроводная передача электроэнергии от

планшета стилусу. Антенна в планшете с высокой точностью определяет место получения ответного сигнала.

Электромагнитные поля, возникающие в процессе работы индукционной сенсорной панели, не нарушают работу схем управления дисплеем и не влияют на характеристики самого дисплея. Резонансные контуры располагаются под дисплеем, поэтому на фронтальной поверхности дисплея устанавливаются антибликовые фильтры, которые позволяют существенно повысить качество изображения. Индуктивный экран не влияет на качество изображения, не реагирует на касание ладонью при письме или рисовании.

8. Сенсорные экраны на поверхностно-акустических волнах

Сенсорные экраны на поверхностно-акустических волнах, они же SAW-экраны (Surface acoustic wave), основаны на эффекте поглощения акустической волны сторонним объектом. На углах стеклянной панели устанавливаются пьезоэлектрические излучатели, подающие постоянные ультразвуковые колебания. По периметру панели располагаются отражатели и принимающие датчики. При отсутствии внешних факторов сигнал, получаемый датчиками, остается не изменен, но при нажатии на панель часть акустических волн поглощается. Таким образом, на основании измененного рисунка отраженных волн, контроллер высчитывает координаты нажатия [17].

Преимуществом такого экрана является возможность определения силы нажатия, так как объем поглощения акустических волн увеличивается от величины давления в точке нажатия.

Стоит отметить, что такие экраны высокочувствительны к загрязнению и любой сторонний объект, способный поглощать акустические волны может привести как к ложным срабатываниям, так и к полной неработоспособности данного экрана до устранения загрязнения. Точность таких экранов низкая. Кроме того, для работы с этим экранам подходят только средства ввода способные поглощать акустическую волну, что делает невозможным использование стандартных стилусов.

9. DST сенсорные экраны

Технология дисперсионного сигнала (DST -Dispersive Signal Technology), основанная на преобразовании механической волны в электрический сигнал (рисунок 10) [27-29].

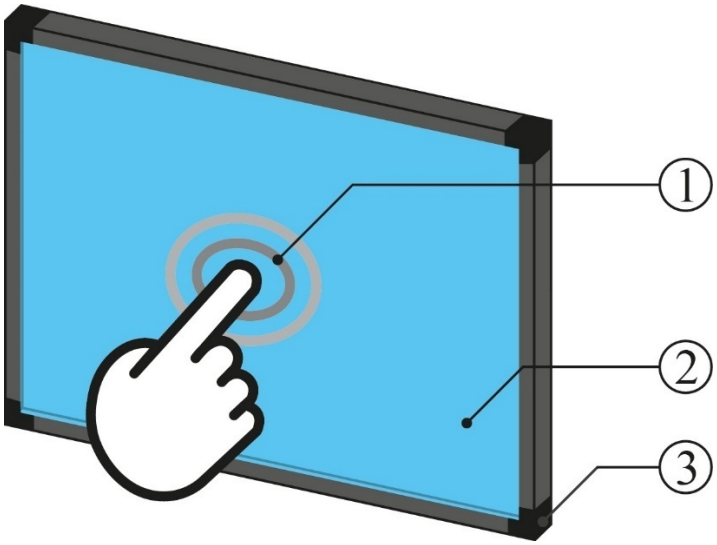


Рисунок 10 - Схема DST сенсорного экрана (1 - условное обозначение механической волны от нажатия, 2 - стекло, 3 - пьезоэлектрический элемент)

На углах стеклянной пластины с обратной стороны расположены пьезоэлектрические элементы, преобразующие механическую волну от места нажатия в электрический сигнал. Расстояние от каждого датчика определяет степень рассеивания сигнала - чем дальше нажатие произошло от датчика, тем больше рассеивается сигнал.

Контроллер фильтрует волну и преобразует ее в цифровой сигнал. Преобразование основано на расчете времени получения сигнала от каждого из четырех датчиков и заранее записанных физических постоянных, таких как профиль изгибающей волны, эффекты рассеивания в стекле. Для конкретной пространственной зоны вычисляется точное место нажатия.

Недостатки DST экранов:

- нет технологии MultiTouch,
- сложный монтаж,
- необходимость периодической калибровки.

Достоинства DST экранов:

- высокая светопропускаемость,

- высокая надёжность,
- работа с любым типом объекта ввода.

Технология DST экранов разработана как альтернатива проекционно-емкостным экранам, для терминалов массового использования.

10. Тензометрические сенсорные экраны

Тензометрические сенсорные экраны - реагируют непосредственно на деформацию экрана.Данная технология основана на тензометрическом эффекте материала, напыленного на тонкой пленке [27-29]. Чувствительность такого напыления достаточна, чтобы зафиксировать нажатие на экран даже сквозь защитное стекло значительной толщины. Однако, это неприменимо в сенсорных экранах, основанных на большинстве других технологий.

Обратной стороной высокой чувствительности является потеря точности определения места нажатия, зато тензометрические сенсорные экраны отлично выдерживают механические воздействия, перепады температуры и большое количество влаги, что делает их хорошей альтернативой проекционно-емкостных сенсорных экранов в области терминалов массового использования.

11. Обсуждение

Рынок сенсорных экранов в настоящее время подвержен бурному росту. Массовое внедрение общественных терминалов, информационных панелей, банкоматов, интерактивных киосков и других решений становится повсеместным. Так же на рост индустрии сенсорных экранов повлияла пандемия COVID-19, и последующий за ней кризис полупроводников. После приостановления производства последовал период восстановления темпов производства, которые, согласно оценке аналитиков, будут наращиваться вплоть до 2028 года, со средним темпом роста около 14% в год для потребительской сферы и около 8% для потребительской.

Основными факторами роста в промышленной сфере выделяются:

- растущий спрос со стороны приложений для цифровых вывесок,
- рост спроса на устройства HMI (Человеко-машинный интерфейс),
- высокий рост ЖК-дисплеев со светодиодной подсветкой,
- растущие темпы внедрения решений IoT (интернет вещей) и искусственного интеллекта.

Основными факторами роста на потребительском рынке считают:

- рост внедрения решений сенсорных экранов в бытовую технику и автомобильную промышленность,
- рост сферы IoT в потребительском секторе, в частности системы умного дома: системы запирания дверей, умная бытовая техника, биометрические устройства,
- рост индустрии смартфонов, в том числе постепенный переход на технологию 5G и инвестиции крупных компаний в сенсорное распознавание жестов.

Увеличение способов применения сенсорных экранов в различных сферах приводит к увеличению требований к самим сенсорным экранам. Аналитики выделяют следующие проблемы, с которыми уже сталкиваются и с которыми еще предстоит столкнуться разработчикам и производителям:

- увеличение размеров панели сенсорного экрана и ее разрешения,
- растущие требования к техническим требованиям экранов,
- приобретение и внедрение новых контроллеров сенсорных экранов,
- увеличение стойкости сенсорных экранов к внешним воздействиям.

Из отчета «Touch Games» можно сделать вывод, что основным видов сенсорных экранов в промышленной отрасли на следующий год будут экраны на проекционно-емкостной технологии. Обуславливается это универсальностью, как подходящих размеров диагонали дисплея, так и методов применения таких экранов.



Рисунок 11 – Распределение технологий сенсорных экранов в промышленной сфере в 2023 году

Так же стоит отметить, что резистивные сенсорные технологии, несмотря на дешевизну производства, потеряли былую актуальность. Связано это с тем, что главное их преимущество – комфортная работа с интерфейсами, изначально не адаптированными под сенсорный ввод, больше не имеет смысла. Новые интерфейсы оборудования с сенсорными экранами изначально спроектированы с учетом сенсорного ввода.

Основными потребителями промышленных сенсорных экранов по областям экономики станут транспортный и производственный сектора.



Рисунок 12 – Распределение использования сенсорных экранов по областям экономики

Такое распределение роста использования сенсорных экранов связано с трансформацией данных промышленных секторов с внедрением цифровых технологий, автоматизации и анализа данных. Например, в транспортной сфере это как интерфейсы управления транспортом и мониторинг различных параметров отдельных локомотивов, и транспортных систем, так и информационные терминалы, электронные киоски и терминалы оплаты.

В ближайшие несколько лет основными потребителями сенсорных дисплеев станут Азиатско-Тихоокеанский регион, Северная Америка, Европа и страны СНГ.

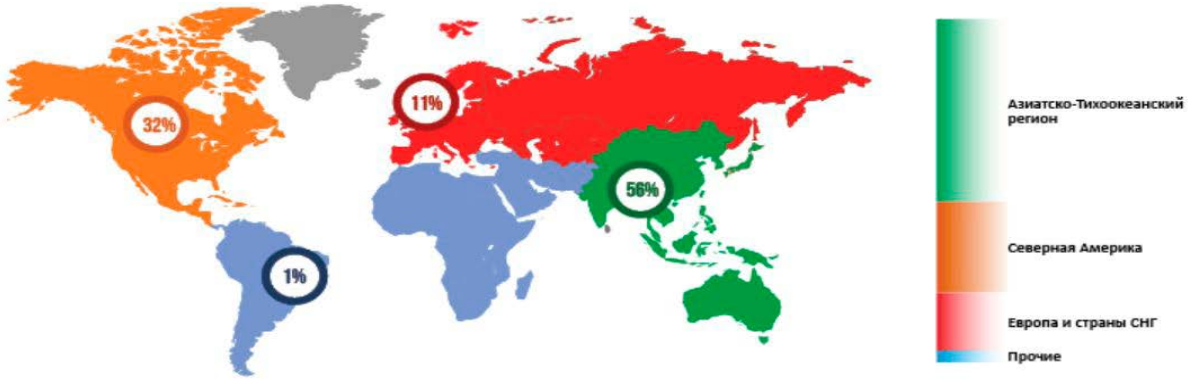


Рисунок 13 – Доли мирового рынка сенсорных экранов

Общее сравнение различных технологий сенсорных экранов приведено в следующей таблице 1.

Азиатско-Тихоокеанский регион будет занимать значительную долю рынка. Это связано с бурным ростом рынка электроники в целом. Такие сектора, как бытовая электроника, промышленность и автомобилестроение значительно выросли, особенно в Китае, Южной Корее, Японии и Индии. Например, по данным OICA (Международная организация производителей автомобилей), Китай, в последние годы, занимал значительный объем мирового производства автомобилей и электромобилей, общий объем производства автомобилей в 2021 году достиг чуть более 26 миллионов, а в 2022 году более 27 миллионов. Количество электромобилей за год удвоилось с 3,5 миллионов до 7.

Сравнительный анализ сенсорных панелей Таблица 1

Параметр	Вид сенсорной технологии								
	Резистивные	Матричные	Емкостные	ИК	Оптические	Индукционные	Тензометрические	ПАВ	ДСТ
Прозрачность, %	75-85	85	90	100	100	100	100	100	100
Использование технологии MultiTouch	В зависимости от типа	+	+	+	+	-	-	-	-
Точность определения координат нажатия	Не более 4 мм, Определяется плотностью проводников	Определяется размером ячейки матрицы	Не более 1 мм, Определяется размером пальца и контрольным ПО	Определяется плотностью оптопар по периметру экрана	Определяется размером пальца и контрольным ПО	0,15 – 0,5 мм, В зависимости от типа технологии.	Низкая, зависит от качества и калибровки датчиков	Не более 2 мм	Не более 2 мм
Измерение силы нажатия	-	-	-	-	-	+	С низкой точностью	+	-
Диапазон рабочих температур	0…+35	-10…+60	-40…+70	-20…+70		-		От -20…0 до +40…+50	
Защита от внешней среды (жидкости, загрязнения)	+	+	+	+	-	+	+	-	+
Подходящие размеры экраны	Любые	Любые	Любые, в зависимости от технологии	Крупные, диагональ от 32 дюймов	Крупные, диагональ от 20 дюймов	Малые	Диагональ от 13 до 32 дюймов	Диагональ от 13 до 32 дюймов	Диагональ от 13 до 32 дюймов
Защита от внешних воздействий	-	-	+	+	+	-	+	-	+

Заключение

В данной статье рассмотрены все существующие на данный момент времени технологии, используемые для создания сенсорных экранов, определены достоинства и недостатки каждой технологии, а также типовое применение данных технологий в

той или иной сфере. При разработке устройств с технологией сенсорного экрана необходимо учитывать три основных момента: Размер экрана, расположение экрана (улица или помещение), а также методы взаимодействия с экраном: рука, перо, дополнительные устройства ввода, необходимость технологии MultiTouch.

Отдельные результаты получены в рамках Государственного задания по проекту FSFN-2024-0027

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Berdyugina O.N., Krivoshein A.I., Vlasov A.I. Technological platform for innovative social infrastructure development on basis of smart machines and principles of internet of things // Proceedings Global Smart Industry Conference (GloSIC 2018). 2018. N. 8570062.

2. Shakhnov V.A., Kurnosenko A.E., Demin A.A., Vlasov A.I. Industry 4.0 visual tools for digital twin system design // Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems. 2020. Vol.2. pp. 864-875.

3. Терентьев Д.С., Власов А.И., Токарев С.В. Проекционно-ёмкостной сенсорный экран для встраиваемых мобильных систем // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). С. 016-026

4. Терентьев Д.С. Замена резистивных сенсорных технологий ёмкостными в устройствах мобильной связи широкого потребления // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2012. 2012. С. 361.

5. Данилов А.Н., Вдовенко Д.В., Максимов С.П. Разработка сенсорного терминала интернета вещей на основе технологий RFID и WI-FI // Технологии информационного общества. Сборник трудов XVI Международной отраслевой научно-технической конференции. 2022. С. 13-15.

6. Терентьев Д.С., Власов А.И. Бортовые сенсорные панели с дактилоскопическими датчиками на транспорте // Датчики и системы. 2014. № 4 (179). С. 45-55.

7. Терентьев Д.С., Шахнов В.А., Власов А.И. Устройство сенсорно-бесконтактного ввода информации на базе керамики для авионики // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). 2016. № 4. С. 87-94.

8. Надейкина Л.А., Черкасова Н.И. Повышение качества и надежности проектов гражданской авиации за счет трендовых архитектурных решений // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2023. Т. 2. С. 16-19.

9. Терентьев Д.С., Шахнов В.А. Информационный терминал с интеллектуальной системой управления для промышленного применения // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2013. Т. 1. С. 304-307.

10. Белых С. ZYPOS - проекционно-емкостные Сенсорные экраны для вандалоустойчивых платежных терминалов // Компоненты и технологии. 2011. № 8 (121). С. 17-19.

11. Нечай О. Емкостные против резистивных // Компьютерра. 2010. № 13.

12. Krivoshein A.I., Terent'ev D.S., Shakhnov V.A, Vlasov A.I. Investigation of a capacitor array of a composite capacitive touch panel // Russian Microelectronics. 2018. V.47. № 5. pp. 299-306.

13. Terentiev D.S., Vlasov A.I. The automatic system of control by capacitive touch screen for mobile electronic device // Science progress in European countries: new concepts and modern solutions. 1st International scientific conference: conference papers. Edited by Ludwig Siebenberg. 2013. pp. 100-104.

14. Терентьев Д.С. Проекционно-ёмкостная сенсорная панель и способ её изготовления // Патент на изобретение RU 2695493 C2, 23.07.2019. Заявка №2016121417 от 31.05.2016.

15. Терентьев Д.С. Разработка ёмкостного сенсорного экрана для бортовой электроники на транспорте с биометрической системой управления доступом // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Под редакцией М.Н. Пиганова. 2013. С. 103-110.

16. Волков А.Ю. Исследование и разработка координатных датчиков для емкостных сенсорных экранов // Дисс. канд. техн. наук, ФГБОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина)". - Санкт-Петербург, 2006. 182 с.

17. Вихрев Л. Легким движением руки: сенсорные панели // Компоненты и технологии. 2005. № 5 (49). С. 70-76.

18. Демин А.А., Терентьев Д.С., Шахнов В.А. Альтернативная технология изготовления сенсорного емкостного экрана // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). С. 56-64.

19. Terent'ev D.S., Shakhnov V.A., Vlasov A.I. Graphene flexible touchscreen with integrated analog-digital converter // Russian Microelectronics. 2017. V. 46. № 3. pp.192-199.

20. Абдулла М.Т., Аминев Д.А., Бабынин П.В., Терентьев Д.С. Анализ средств моделирования электромагнитных наводок на сенсорные экраны // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2019. № 2 (174). С. 52-60.

21. Гришко А.К., Суханкина Н.В., Гаврина Д.Ф., Кабдуалиев Ж. Электромагнитный анализ композитных экранов бортовых радиоэлектронных систем // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2022. Т. 2. С. 190-193.

22. Терентьев Д.С., Кривошеин А.И., Бортник Б.Ю., Козырев А.А. Исследование влияния электромагнитных помех на ёмкостную сенсорную панель // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). 2018. № 4. С. 36-43.

23. Аминев Д.А., Горбачева Д.М., Данилевич В.А. Анализ технологий реализации сенсорного управления // Технологии инженерных и информационных систем. 2020. № 1. С.33-44.

24. Zhalnin V.P., Zakharova A.S., Uzenkov D.A., Vlasov A.I., Krivoshein A.I., Filin S.S. Configuration-making algorithm for the smart machine controller based on the internet of things concept // International Review of Electrical Engineering. 2019. V. 14. № 5. pp. 375-384.

25. Штрапенин Г., Мишан М. Интегральные контроллеры сенсорных экранов Texas Instruments // Компоненты и технологии. 2007. № 9 (74). С. 64-68.

26. Гаврилюк С. Советы по контроллерам сенсорных экранов // Компоненты и технологии– 2004. № 2. С. 60 – 65.

27. Самарин А. Современные технологии MultiTouch сенсорных экранов // Компоненты и технологии. 2008. № 1 (78). С. 134-140.

28. Мухин И. Сенсорные экраны решение проблем // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 2006. № 7.

29. Дегтяренко Д.В., Микулко В.С., Ежов В.Д. Принцип работы сенсорных экранов // Актуальные проблемы энергетики. Белорусский национальный технический университет. 2016. С. 446 – 450.

УДК 621.923

Батищева[1] О.М., Папшев[2] В.А., Романенко[3] Ю.А.

[1,2] Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

[3] Филиал военной академии Ракетный войск стратегического назначения имени Петра Великого в г. Серпухове, Серпухов, Россия

[1] omb@list.ru

[2] pva_samara@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ

Аннотация. Наименее надежным агрегатом автомобиля является двигатель: его ресурс до капитального ремонта практически определяет ресурс транспортного средства. В результате проведенных исследований были систематизированы обращения в сервисные центры г. Самары по поводу нарушений функционирования силового агрегата легковых автомобилей. Анализ возможных неисправностей показал, что их перечень достаточно велик. Статистическая обработка данных позволила определить, что наиболее часто наблюдаются обращения по поводу износа цилиндров и увеличенного расхода масла. Восстановление рабочей поверхности цилиндров механической обработкой по-прежнему остается одним из основных способов ремонта двигателей. Качественное выполнение финишной операции - хонингования - является условием обеспечения гарантированного ресурса двигателя.

Авторами предложена конструкция хона и технология обработки на основе использования ультразвуковых колебаний. Требуемый микрорельеф маслоудерживающей поверхности создается с меньшими затратами и большей точностью.

Ключевые слова: двигатель, регулярный микрорельеф, ультразвуковые колебания, хонингование, цилиндро-поршневая группа

Batischeva[1] O.M., Papshev[2] V.A., Romanenko[3] Yu.A.

[1,2] Samara State Technical University, Samara, Russia

[3] Branch of the Military Academy of Strategic Missile Forces named after Peter the Great in Serpukhov, Serpukhov, Russia

[1] omb@list.ru

[2] pva_samara@mail.ru

TECHNOLOGY FOR RESTORING THE WORKING SURFACE OF CYLINDERS

Annotation. The least reliable vehicle unit is the engine: its life before major repairs practically determines the life of the vehicle. As a result of the conducted investigations, appeals to the service centers of Samara regarding violations of the functioning of the power unit of passenger cars were systematized. The analysis of possible malfunctions showed that their list is quite large. Statistical processing of the data allowed us to determine that the most common complaints are about cylinder wear and increased oil consumption. The restoration of the working surface of the cylinders by mechanical treatment is still one of the main ways to repair engines. High-quality performance of the finishing operation – honing - is a condition for ensuring a guaranteed engine life.

The authors proposed the design of the hone and the processing technology based on the use of ultrasonic vibrations. The required microrelief of the oil-retaining surface is created with less effort and greater accuracy.

Keywords: engine, regular microrelief, ultrasonic vibrations, honing, cylinder-piston group

Введение

Наименее надежным агрегатом автомобиля является двигатель: его ресурс до капитального ремонта практически определяет ресурс транспортного средства, а расходы на поддержание силового агрегата в работоспособном состоянии составляют не менее 20 % от затрат на поддержание нормального функционирования автомобиля в целом.

Надежность и качество функционирования цилиндро-поршневой группы двигателей внутреннего сгорания определяется многими факторами. Серьезной проблемой является появление задиров в цилиндрах. Одна из возможных причин – это всасываемые обратно в цилиндры обломки катализатора отработанных газов. Металлическая стружка, попадая в смазку, выводит из строя цилиндропоршневую группу, становится причиной поломки маслонасоса и распределительных валов. В этом случае проблема решается исключительно капитальным ремонтом, при котором блок растачивается или гильзуется.

При недостатке смазки на внутренней поверхности цилиндра образуется слишком тонкая масляная пленка – на ней появляются разрывы. Такая ситуация возможна при запуске холодного двигателя. При перекладке в нижней мертвой точке направляющая часть поршня соприкасается с внутренними стенками цилиндра «на сухую». Трение металлических поверхностей без достаточной масляной пленки приводит к износу стенок цилиндра.

Причиной образования задиров может стать агрессивный стиль вождения: при появлении разрешающего сигнала светофора водитель резко нажимает на педаль газа. Двигатель, до этого работавший на холостых оборотах при малом давлении от масляного насоса, начинает работать с большой нагрузкой. При недостатке масла на стенках цилиндров образуются задиры.

По результатам собеседований на сервисных центрах г. Самара были систематизированы обращения (за 2022) год по поводу нарушений функционирования силового агрегата [1]. В качестве инструмента анализа был выбран метод Парето, позволяющий оценить наиболее существенные проблемы, ставшие причиной 80 % обращений. Результат анализа представлен в виде диаграммы на рис. 1. Очевидно, в триаду причин наиболее частых обращений входят износ цилиндров и увеличенный расход масла.

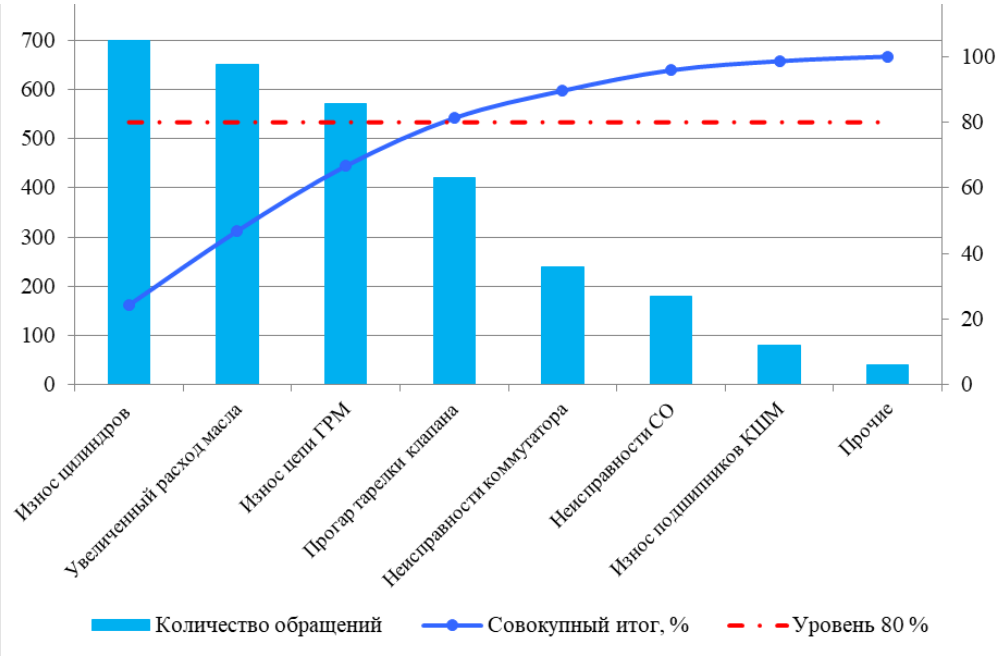


Рисунок 1. Диаграмма Парето

Технологии восстановления рабочей поверхности цилиндров

Восстановление рабочей поверхности цилиндров механической обработкой по-прежнему остается одним из основных способов ремонта двигателей. К механической обработке относится растачивание под ремонтный размер и хонингование.

Цилиндры растачиваются с помощью станков вертикально-расточного типа. При выполнении операций важно устанавливать блок строго параллельно на станине. В случае неправильной установки расточка будет произведена не на полный объем, что, как правило, достаточно быстро вызывает необходимость повторной расточки. Для выполнения финишных операций после растачивания должно оставаться не менее требуемого значения припуска, иначе полученный слой деформированного материала явится причиной снижения ресурса поршневой группы в целом.

Финишная обработка деталей всегда значима, но при восстановлении рабочей поверхности цилиндров именно хонингование – как финишная операция – определяет гарантируемый ресурс работы двигателя. Образующийся микропрофиль внутренней поверхности цилиндра – это совокупность пересекающихся рисок. Их взаимное расположение, глубина, определенная плоскостность вершин определяет множество эксплуатационных характеристик, в том числе расход масла, компрессию, динамику износа цилиндров и другие.

Абразивные бруски, установленные в хонинговальную головку по поверхности цилиндра, получают одновременно вращательное и поступательное движение. Результатом обработки является регулярная сетка, состоящая из выступов и впадин. Точность выполнения этой сетки определяется параметрами режима операции. При этом съем металла не должен быть меньше, чем глубина неровностей, оставшихся от резца при растачивании.

Разработка устройства для повышения эффективности процесса хонингования

В базовом процессе хонингования используется вибрационный принцип. Более перспективной и эффективной является технология, использующая ультразвуковые колебания. Ультразвуковые колебания – это упругие волны, распространяющиеся в материальных средах: твердых телах, жидкостях, газах.

Авторами предложена конструкция хона, являющаяся развитием модели, базирующейся на способе вибрационного хонингования и представленной в патенте № 2440883 [2].

Основная задача была связана с созданием регулярного микрорельефа, поскольку создание регулярного микрорельефа на поверхности деталей способствует увеличению опорной поверхности цилиндра, улучшению условий смазки, повышению

эффективности теплопередачи и в целом – повышению надежности и долговечности цилиндро-поршневой группы.

На рис. 2 представлена блок-схема, поясняющая принцип действия разработанного устройства для выполнения хонингования внутренних поверхностей с использованием ультразвуковых колебаний.

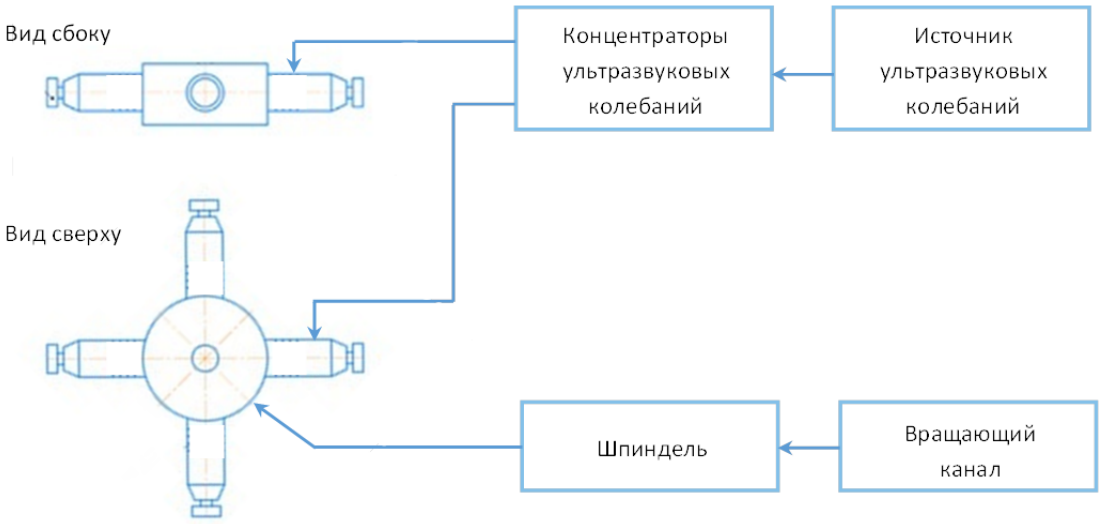


Рисунок 2 - Схема устройства хонингования с ультразвуковой насадкой

Устройство, с помощью которого реализуется способ, предназначено для финишной чистовой отделочной обработки отверстий в режиме хонингования с наложением ультразвуковых колебаний алмазно-абразивным брусками. Вращающий канал обеспечивает вращение шпинделя, на котором закреплен корпус с концентраторами ультразвуковых колебаний, питающимися от источника ультразвуковых колебаний (например, генератора ГЗ-109).

Заключение

Использование ультразвука позволяет выполнять операцию хонингования быстрее, чем это реализуется с использованием вибрационной обработки. Ультразвуковые технологии делают возможным существенно меньшее удельное давление по сравнению с другими технологиями, поэтому структура поверхностного слоя подвержена меньшим изменениям. Требуемый микрорельеф маслоудерживающей поверхности создается с меньшими затратами и большей точностью: обеспечивается необходимый угол встречи рисок, определенное соотношение опорных поверхностей и впадин.

Представляет интерес вариант, когда система участвует в колебаниях, которые происходят в двух направлениях, а именно вдоль осей x и y прямоугольной системы координат:

$$x = x_m \sin(\omega_x t + \varphi_{0x}); \quad (1)$$

$$y = y_m \sin(\omega_y t + \varphi_{0y}). \quad (2)$$

В этом случае результирующее отклонение в момент времени t определяется как векторная сумма [3].

Практический интерес представляет изучение траектории движения при сложении колебаний, описываемых вышеприведенными уравнениями. Форма фигуры Лиссажу зависит от отношения частот и разности начальных фаз. Фигура Лиссажу остается неизменной, если отношение частот представляет собой рациональное число, в противном случае траектории не повторяются и фигура Лиссажу непрерывно изменяется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батищева, О.М., Папшев, В.А. Анализ перспектив развития автотранспортных предприятий / Мат. IX Междун. науч.-практ. конф. «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» / Горловка : АДИ (филиал) «Донецкий национальный технический университет», 2023. – С. 21 – 25.

2. Пат. 2440883 Российская Федерация, МПК B 24 B 33/02, B 06 B 1/18. Способ вибрационного хонингования / Степанов Ю.С., Киричек А.В., Афанасьев Б.И., Сотников В.И., Самойлов Н.Н., Заброда О.С.; заявитель и патентообладатель Орловский гос.техн.ун-т. – № 2010119673/02; заявл. 17.05.2010; опубл. 27.01.2012, Бюл. № 3. – 4 с.

3. Кухлинг, Х. Справочник по физике: Пер. с нем., 2-е изд. – М.: Мир, 1985. –С. 235 – 238.

УДК 621.396

Папшев[1] В.А., Батищева[2] О.М., Романенко[3] Ю.А.

[1,2] Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

[3] Филиал военной академии Ракетный войск стратегического назначения имени Петра Великого в г. Серпухове, Серпухов, Россия

[1] pva_samara@mail.ru

[2] omb@list.ru

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕТАЛЕЙ, СОЕДИНЯЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА И МОДЕЛИ ИХ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Аннотация. В процессе сборки деталей, соединяемых с натягом в результате силового взаимодействия, возникают деформации деталей, искажаются поверхности контактирования, появляются нежелательные напряжения, что в конечном итоге приводит к снижению динамического качества соединения. Известно, что вибрационные воздействия улучшают технологический процесс сборки (происходит взаимная ориентация осей собираемых деталей, снижается усилие запрессовки), однако влияние колебаний на напряженно-деформированное состояние деталей требует дополнительных исследований, поскольку напряженно-деформированное состояние в значительной степени определяет прочность соединения. Исходя из теоретических предпосылок, спланированы и проведены экспериментальные исследования воздействия резонансных колебаний на напряженно-деформированное состояние деталей, соединяемых по прессовым посадкам, проанализированы варианты моделей контактирования поверхностей.

Ключевые слова: деформации деталей, напряженно-деформированное состояние, сборка, ультразвуковые колебания

Papshev[1] V.A., Batishcheva[2] O.M., Romanenko[3] Yu.A.

[1,2] Samara State Technical University, Samara, Russia

[3] Branch of the Military Academy of Strategic Missile Forces named after Peter the Great in Serpukhov, Serpukhov, Russia

[1] pva_samara@mail.ru

[2] omb@list.ru

STRESS-STRAIN STATE OF PARTS CONNECTED USING ULTRASOUND AND MODELS OF THEIR CONTACT INTERACTION

Annotation. During the assembly of parts connected with tension as a result of force interaction, deformations of parts occur, contact surfaces are distorted, non-rigid stresses appear, which ultimately leads to a decrease in the dynamic quality of the connection. It is known that vibration effects improve the assembly process (the axes of the assembled parts are oriented differently, the pressing force is reduced), however, the effect of vibrations on the stress-strain state of the parts requires additional research, since the stress-strain state largely determines the strength of the joint. Based on theoretical assumptions, experimental studies of the effect of resonant vibrations on the stress-strain state of parts connected by pressing landings have been planned and conducted, and variants of surface contact models have been analyzed. Keywords: deformations of parts, stress-deformed

Keywords: deformations of parts, stress-strain state, assembly, ultrasonic vibrations

Несущую способность (прочность) цилиндрических соединений с натягом обычно оценивают по таким параметрам как фактическая площадь контакта, контактное давление и коэффициент трения. Поскольку сила трения возрастает с ростом фактической площади касания [1], естественно, прочность прессовых посадок в значительной мере определяется ее размерами. Фактическая площадь контакта неразрывно связана с деформацией микровыступов, определяющей жесткость узлов машин, имеющих стыковое соединение. Таким образом, фактическая площадь контакта является одним из важнейших параметров, характеризующих процессы, происходящие при контактировании твердых тел.

Чтобы иметь возможность оценить деформацию и несущую способность отдельных выступов поверхности приходится моделировать эти выступы в виде правильных геометрических тел. Известны модели контакта шероховатой поверхности, в виде набора сфер, с абсолютно твердой гладкой поверхностью, применительно к различным случаям деформации выступов [1]. Предварительно, согласно этим моделям и исходя из условий контактирования и природы материала, оценивается преобладающий характер деформации выступов и в соответствии с этим выбирается расчетная (исходная) модель (рис. 1).

Принято рассматривать четыре модели (условия) контактирования сопрягаемых поверхностей при статическом нагружении [1]:

Согласно формуле Герца, нагрузка N, при упругом контакте n_r – выступов выразится так [1]

$$N = \int_0^{n_r} N_i dn_r \qquad (1.1)$$

или, после подстановки N_i и dn_r получим

$$N = \frac{0{,}66K_2Eh_{max}^{\frac{1}{2}a}}{\pi(1-\mu^2)r^{\frac{1}{2}\nu+\frac{1}{2}}} \quad (1.2)$$

фактическая площадь контакта при этом будет равна

$$\eta_1 = \left\{ \frac{2{,}35b^{\frac{1}{2\nu}}r^{\frac{1}{2}}(1-\mu^2)N}{2^{\frac{1}{2\nu}}K_2h_{max}^{\frac{1}{2}c}} \{\}^{\frac{2\nu}{2\nu+1}} \right\} \quad (1.3)$$

в приведенных формулах:

- N – нагрузка приходящаяся на n_r – выступов;
- N_i – нагрузка приходящаяся на единичный выступ;
- η_1 – площадь фактического контакта;
- b и ν – коэффициенты, характеризующие кривую опорной поверхности;
- r – радиус кривизны вершин выступов;
- h_{max} – максимальная высота неровностей;
- E – модуль Юнга;
- μ – коэффициент Пуассона;
- A_c – контурная площадь;
- K_2 – коэффициент, зависящий от ν;
- A_a – номинальная площадь;

При пластическом контакте имеем [1]

$$N = \int_0^{n_r} N_i dn_r = C\sigma_s A_c b\varepsilon^{\nu} \quad (2.1)$$

отсюда фактическая площадь контакта

$$\eta_1 = \frac{q_c}{C\sigma_s} \quad (2.2)$$

где

- $q_c = \frac{N}{A_c}$ - удельная контурная нагрузка;
- $C\sigma_s$ – среднее напряжение на контакте;
- C – коэффициент;
- σ_s – предел текучести материала в предельно наклепанном состоянии;

В случае пластического контакта с упрочнением имеем соответственно [1]

$$N_i = 2^{\frac{\vartheta}{2}}\pi H_y h_{max}^{\frac{\vartheta^2-\frac{\vartheta}{2}}{2}} \quad (3.1)$$

после подстановки N_i в (1.2), интегрирования найдем площадь контакта

$$\eta_1 = \left\{ \frac{r^{\omega}b^{\frac{\omega}{\nu}}N}{2^{\omega}h_{max}^{\omega}y_{c_3}} \{\}^{\frac{\nu}{\nu+\omega}} \right\} \quad (3.2)$$

где

- b и ν – константы, характеризующие кривую опорной поверхности;
- h_{max} – максимальная высота выступов поверхности;
- r – радиус кривизны вершин выступов;
- A_c – контурная площадь;
- N – нормальная нагрузка;
- ω – коэффициент, характеризующий упрочнение материала;
- H_y – коэффициент, характеризующий пластическую деформацию материала;
- K_3 – коэффициент, зависящий от ω и ν;

При наличии упруго-пластического контакта, критическая деформация выступа, соответствующая переходу от упругой деформации к пластической, может быть представлена следующим образом [1]

$$a_k = 5{,}35(1-\mu^2)^2C^2(\frac{\sigma_s}{E})^2r \quad (4.1)$$

- a_k – критическая деформация;
- E – модуль упругости;
- σ_s – предел текучести;
- r – радиус закругления вершин выступов;
- μ – коэффициент Пуассона;

исходя из этого, величина площадей находящихся при контактировании в режиме упругой и пластической деформаций будет равна

$$\eta_1 = \eta_п + \eta_y \quad (4.2)$$

после преобразований получаем

$$\eta_1 = \delta + \frac{b^{\frac{1}{\nu}}\nu\varepsilon_k}{2}\delta^{\frac{\nu-1}{\nu}} \quad (4.3)$$

где

- $\eta_п$ – площадь, находящаяся в режиме пластической деформации;
- η_y – площадь, находящаяся в режиме упругой деформации;

$\delta = \frac{q_c}{q_m}$ - отношение контурного давления к давлению, переводящему выступ в пластическое состояние;

$\varepsilon_k = \frac{a_k}{h_{max}}$ - отношение критического сближения к максимальной высоте неровностей;

$\boldsymbol{b}$, $\boldsymbol{\nu}$ – константы, характеризующие кривую опорной поверхности.

Таким образом, при традиционном, статическом режиме нагружения формируется напряженно-деформированное состояние, описываемое тем или иным набором моделей контактирования. [1] При этом модели контактирования являются строго предопределенными.

Приложение вибрационных воздействий в ходе запрессовки дает возможность изменения режима нагружения путем изменения амплитуды и частоты возбужденных колебаний. Появляется возможность управления режимами контактирования, т.е. возможен переход, например, от модели упругого контакта к упруго-пластическому контакту или пластическому контакту (рис. 1). Это обусловлено влиянием высокочастотных колебаний на свойства и структуру деформируемого металла, контактные условия, а так же изменением схемы напряженного состояния и в некоторых случаях дискретным и динамическим характером протекания деформации. Действие каждого из указанных факторов проявляется в зависимости от направления колебаний, их типа, места расположения зоны деформации. Поэтому при выборе моделей колебательных систем (рис. 1) необходимо производить оценку эффективности модели с точки зрения механизма воздействия резонансных колебаний на параметры деформации контактирующих поверхностей. Очевидно, это должно позволить направленно воздействовать на условия контактирования (деформации). Известны методы подбора мощности ультразвука, позволяющие достигать различной степени деформации контакта. Эти эффекты традиционно объясняются на основе дислокационной теории.

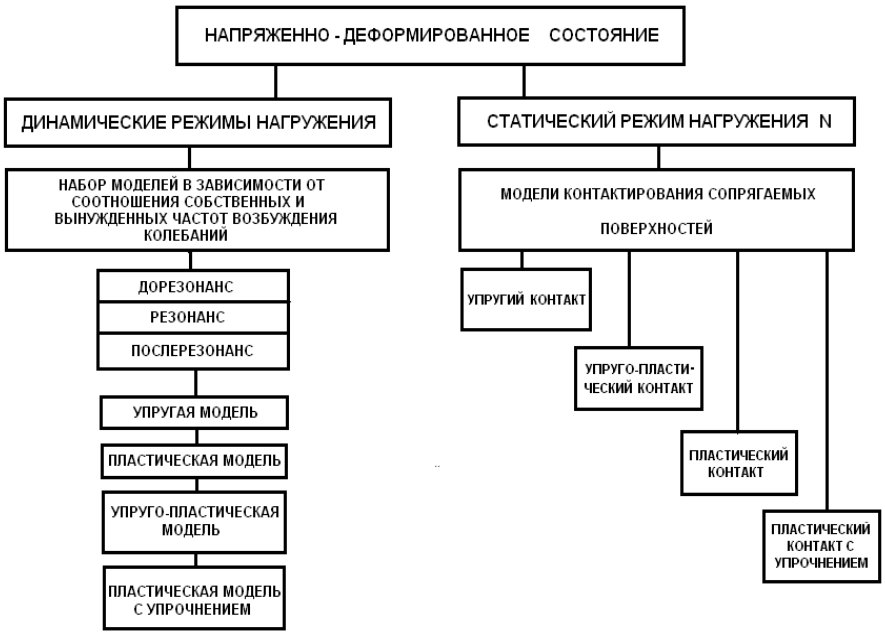


Рисунок 1 - Модели напряженно-деформированного состояния

Поскольку высокочастотные колебания накладываются на статическое напряженно-деформированное состояние, они войдут в модель контактирования в виде гармонической составляющей, $ASin\omega t$ где $\boldsymbol{A}$ – амплитуда колебаний, $\boldsymbol{\omega}$ – частота колебаний. Как видно из схемы (рис. 1) динамические режимы нагружения позволяют получать набор моделей в зависимости от соотношения собственных и вынужденных частот возбуждения колебаний (дорезонанс, резонанс, послерезонанс). Изменяя режимы динамического нагружения можно непосредственно переходить, например, от упругой модели к пластической и т.д.

Спланированные испытания проводились применительно к соединениям типа вал-втулка, собираемым с натягом. Были испытаны две партии деталей, имеющие различные диаметры сопряжения, соответственно 15 мм и 25 мм. В каждой партии было по 20 пар соединений, причем обе партии были поделены пополам, с целью получения прочностных характеристик соединений собранных с воздействием резонансных колебаний и без такового и их сравнения. Колебания прикладывались ко втулке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демкин, Н. Б. Фактическая площадь касания твердых поверхностей Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1962, 110 с.

УДК 621.113.066

Родимов Г.А.
Самарский государственный технический университет, Самара, Россия
pva_samara@mail.ru

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация. На основе проведенных исследований, анализа и обработки информации по применению ультразвуковых колебаний в процессах механической обработки деталей машин дано обоснование использования ультразвука в ресурсосберегающих технологиях.
Ключевые слова: ресурсосбережение, ультразвуковые колебания, ультразвуковая механическая обработка

Rodimov G.A.
Samara State Technical University, Samara, Russia
pva_samara@mail.ru

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION AND REPAIR OF CARS

Annotation. Based on the conducted research, analysis and processing of information on the use of ultrasonic vibrations in the machining of machine parts, a justification for the use of ultrasound in resource-saving technologies is given.
Keywords: resource conservation, ultrasonic vibrations, ultrasonic mechanical processing

Анализируя опыт передовых разработок, можно выделить следующие основные направления совершенствования технологий ремонта:

внедрение ресурсосберегающих методов механической обработки металла;

применение прогрессивных методов сварки;

реализация передовых достижений науки в области повышения эффективности использования расходных материалов;

внедрение новых методов восстановления свойств металлов и др. [1,2].

Примером энергосохраняющих технологий является электромеханический метод обработки металла. Повышенная чистота и твердость поверхности, достигаемые благодаря этому методу, обеспечивают увеличение износоустойчивости детали. При этом расход электроэнергии снижается более чем в 4 раза, время обработки сокращается в 2 раза, а машинное время сокращается более чем в 3 раза [1].

Технология воздушного напыления металлов («Обнинский центр порошкового напыления», Московская область) для восстановления посадочных гнезд валов, подшипников и т.п. значительно продляет срок эксплуатации корпусов коробок передач, редукторов, двигателей, обеспечивая одновременно экономию трудовых ресурсов и энергопотребления [1].

При использовании сварки экономия электроэнергии может быть достигнута применением прогрессивных методов, резко снижающих удельный расход электроэнергии на единицу длины сварочного шва. Широкое применение автоматической, полуавтоматической и других прогрессивных методов электросварки далеко не ограничивается уменьшением потерь электроэнергии, имеющих место при ручной электросварке. Прогрессивные методы электросварки обеспечивают и экономию трудовых ресурсов [1].

Примерами усовершенствования технологий, направленных на сокращение затрат расходных материалов, являются методы повышения эффективности использования смазывающе-охлаждающей жидкости при правке шлифовальных кругов и обработке металлов резанием (Ульяновский ГТУ). Применение ультразвуковых преград на пути потока воздуха, препятствующего полноценному контакту смазывающей жидкости с рабочей поверхностью, значительно улучшает условия смазывания и охлаждения, а следовательно, повышает ресурс работоспособности шлифовального круга или резца [1].

Решение проблемы восстановления свойств металлов иллюстрируется примером комбинированной (термомеханической, лазерной и т.п.) обработки. В настоящее время находят распространение передовые технологии восстановления торсионных валов (Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, «Саратовтрансавто»), повышения усталостной прочности фланцевых соединений (АО «КамАЗ») и др. [1].

Внедрение ресурсосберегающих методов при ремонте агрегатов, узлов и деталей машин связано с увеличением износостойкости деталей, сокращением времени на обработку, восстановлением свойств металлов, снижением расхода электроэнергии и т.д. Применение ультразвука в процессах производства и ремонта автомобилей, в полной мере удовлетворяет данным условиям.

Исследования физического механизма пластической деформации при ультразвуковой обработке [3] показали, что независимо от технологической схемы механической обработки, общей особенностью ультразвукового воздействия является значительное

снижение деформирующих усилий. Введение в зону резания тангенциальных колебаний способствует снижению удельной энергоемкости процесса.

Доказано влияние ультразвука на работоспособность лезвийного и абразивного инструмента. Так при ультразвуковом фрезеровании износ концевых фрез из быстрорежущей стали Р9К5, по сравнению с обычной обработкой, снижается в 2-3 раза. Использование комплексных колебаний при ультразвуковом сверлении позволяет снизить износ в 1,3-1,7 раза. Введение в зону резания ультразвуковых колебаний сопровождается повышением стойкости при работе многолезвийным инструментом. Так, при нарезании резьбы М4х0,7 в стали Х12Н20Т3Р метчиком полного профиля с осевыми колебаниями инструмента стойкость метчика увеличивается в 4-6 раз, причем эффект сохраняется и при нарезании глухих резьб. При ультразвуковом фрезеровании сплава ХН77ТЮР с осевыми колебаниями стойкость концевых фрез повышается в 1,5- 3 раза. Аналогичное повышение стойкости получено при ультразвуковом зубодолблении с тангенциальными колебаниями. Независимо от принятой технологической схемы и вида абразивного материала общей тенденцией является увеличение расхода абразивного инструмента по сравнению с обычной обработкой. В большей степени эта закономерность проявляется в начальный период обработки, в дальнейшем различие этих показателей уменьшается и в конце периода стойкости расход при обычной обработке может превышать соответствующий показатель ультразвукового резания [3].

Аналогичное влияние ультразвуковые колебания на режущую способность брусков. При ультразвуковом хонинговании режущая способность алмазных брусков со временем не уменьшается, съем металла продолжается весь период обработки и через 120 с почти в 8 раз превышает съем при обычном хонинговании. При ультразвуковом суперфинишировании стали 8Х4В9Ф2Ш, в отличии от обычной обработки, съем металла не прекращается до окончания цикла обработки и производительность процесса возрастает в 4-6 раз [3].

Основной причиной упрочнения поверхностного слоя, изменения его структурно-чувствительных свойств и возникновения остаточных напряжений является увеличение плотности дислокаций, дробление зерен на фрагменты и блоки, увеличение угла их разориентировки. Таким образом, варьируя факторами, контролирующими состояние тонкой кристаллической структуры, можно воздействовать на макроскопические эффекты ультразвуковой механической обработки, в том числе функциональные свойства поверхностного слоя, непосредственно связанные с эксплуатационными характеристиками деталей машин и инструмента [3].

На рис. 1,*а* приведены результаты исследования деформационного упрочнения поверхностного слоя при обычном и ультразвуковом резании сплава ХН77ТЮР. Из графиков следует, что при введении в зону резания радиальных ультразвуковых колебаний степень и глубина упрочнения увеличивается по сравнению с обычным резанием; наложение тангенциальных колебаний приводит к обратному. Исследования степени и глубины деформационного упрочнения при точении титанового сплава ВТ3-1 (рис.1,*б*), показали, что влияние направления ультразвуковых колебаний и их амплитуды в основном аналогично сплаву ХН77ТЮР [3].

Отмеченные особенности воздействия ультразвука на деформационное упрочнение в основном сохраняются при работе многолезвийным инструментом. Так, при ультразвуковом нарезании резьбы М4х0,7 с осевыми колебаниями ξ=5 мкм в титановом сплаве ВТ-22 степень упрочнения боковой поверхности резьбового профиля возрастает на 10-15% по сравнению с обычной обработкой. Аналогичный эффект наблюдается при накатывании резьбы в латуни и меди: степень упрочнения возрастает на 25-32% [3].

Исследованиями установлено существенное влияние ультразвуковых колебаний на напряженное состояние поверхностного слоя. Это создает хорошие предпосылки для использования ультразвукового резания как эффективного метода, направленного регулирования величины и распределения остаточных напряжений с учетом конкретных условий эксплуатации деталей. В частности, возможность получения при ультразвуковой механической обработке благоприятных остаточных напряжений можно рассматривать как один из резервов повышения эксплуатационных характеристик изделий, в том числе усталостной прочности. При этом преимуществом данного метода является то, что положительный эффект достигается непосредственно в процессе формообразования без последующих операций упрочняющей технологии.

Наряду с физико-механическим состоянием важным функциональным показателем качества поверхностного слоя является микрогеометрия обработанной поверхности. Многочисленные исследования свидетельствуют о тесной связи геометрических параметров поверхности с эксплуатационными характеристиками изделий, в том числе износостойкостью, контактной выносливостью, усталостной прочностью и др.

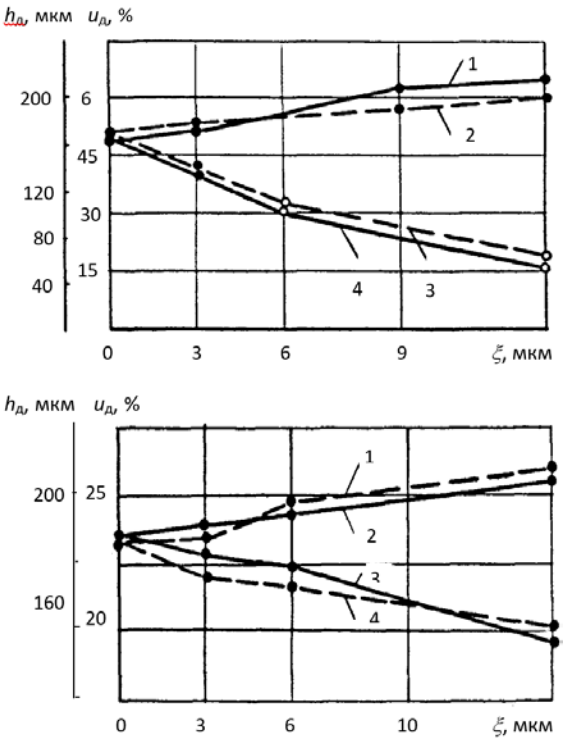
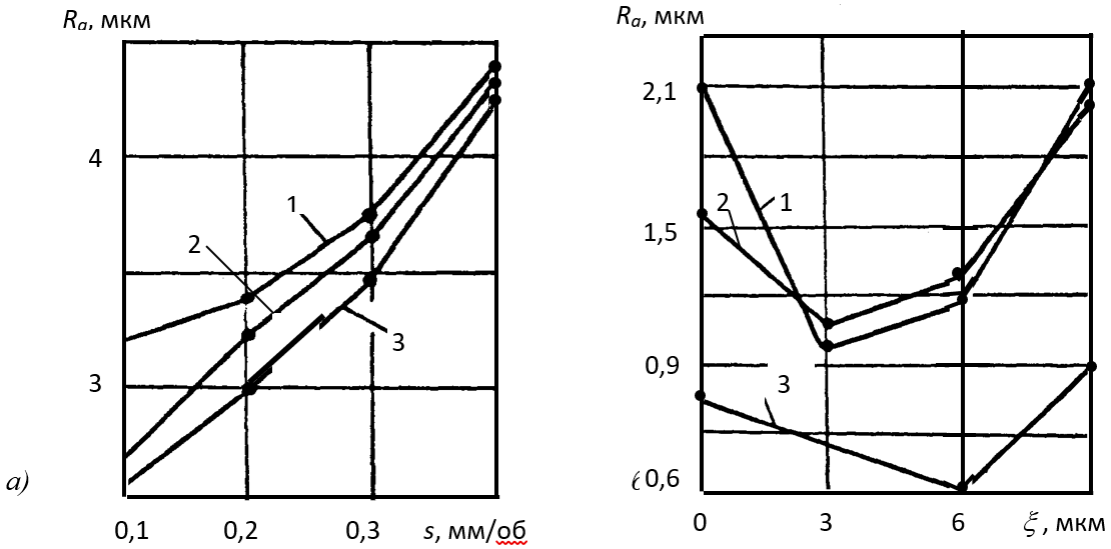


Рисунок 1 - Зависимость глубины и степени деформационного упрочнения от направления и амплитуды колебаний (штриховые линии – $h_д$; сплошные – $и_л$): *1, 2* – радиальные колебания; *3, 4* – тангенциальные колебания; *а* – ХН77ТЮР; *б* – ВТ3-1 (V = 6 м/мин; s = 0,2 мм/об; t=1 мм; f = 22 кГц)

Как видно из рис. 2, *а*, при ультразвуковом точении сплава ХН77ТЮР шероховатость обработанной поверхности в основном определяется амплитудой колебаний и их направлением. Введение в зону резания радиальных колебаний (ξ =3 мкм) в диапазоне малых подач снижает высоту микронеровностей примерно в 2 раза. Дальнейшее увеличение амплитуды колебаний до 10 мкм сопровождается увеличением шероховатости до R_z=20 мкм [3].

Анализ полученных данных показывает, что в этом случае в диапазоне амплитуд 3-5 мкм возможно снижение высоты шероховатости до R_a=1,1 мкм при исходной 2,4 мкм. С увеличением подачи эффективность ультразвука снижается, и при s=0,4 мм/об высота микронеровностей при обычном и ультразвуковом резании практически одинакова [3].



а)

Рисунок 2 - Влияние ультразвуковых колебаний на шероховатость обработанной поверхности: *а* - точение (ХН77ТЮР; v=6 м/мин; t=1 мм; ξ=3 мкм; f=21 кГц); *1* - обычное резание; *2* - радиальные колебания; *3* - тангенциальные колебания; *б* - *1* - резьбонарезание (ВТ9 М3×0,5; v=2,5 м/мин; f=44 кГц); *2* - зубодолбление (13Х3НВМ2ФШ; m=2; z=30; v=10 м/мин; ξ=4 мкм; f=21 кГц); *3* - развертывание (ВТ-20; d=10 мм; v=6 м/мин; s=0,1 мм/об; t=0,1 мм); *1,3* - осевые колебания; *2* - тангенциальные колебания

Положительное влияние оказывают ультразвуковые колебания и на шероховатость обработанной поверхности при резьбонарезании. Из графиков на рис. 2, *б* видно, что в этом случае зависимость высоты микронеровностей от амплитуды колебаний носит немонотонный характер: минимальные значения R_a наблюдаются при ξ =3 мкм; при ξ = 6 мкм шероховатость ухудшается, хотя и в этом случае высота микронеровностей остается ниже, чем при обычном резании [3].

Значительное снижение высоты микронеровностей характерно также и для ультразвукового зубодолбления и развертывания. При развертывании отверстий в высоколегированных сталях, в частности 10Х18Н9Т, лучшие результаты получены при использовании комплексных (крутильных) колебаний.

Улучшение микрогеометрии обработанной поверхности установлено и при абразивной обработке. Так, при круглом врезном шлифовании титанового сплава ВТ9 кругом 63С40СТ1К5 (V=30 м/с, $V_и$=10 м/мин) с осевыми колебаниями ξ = 6 мкм шероховатость снизилась с R_a = 0,9 мкм до R_a = 0,5 мкм; дальнейшее увеличение амплитуды колебаний до 10 мкм не приводит к существенному изменению микрогеометрии. Аналогичные результаты получены при шлифовании титановых сплавов ВТ3-1, ВТ22.

Сравнение шероховатости обработанной поверхности при обычном и ультразвуковом суперфинишировании стали 8Х4В9Ф2Ш показывает, что введение в зону резания ультразвуковых колебаний нормально к обрабатываемой поверхности увеличивает R_a на 10-15%. Последующее выхаживание по обычной схеме в течение 5-10 с позволяет снизить R_a до 0,04 мкм. Такая последовательность обработки способствует значительному улучшению микрогеометрии при одновременном повышении производительности процесса [3].

В процессе эксплуатации детали машин и инструмент подвергаются различным видам силового и термического воздействия, в результате чего снижается их работоспособность, а в ряде случаев происходит преждевременный выход из строя. Разрушение, как правило, начинается с поверхности, поэтому возможность использования ультразвука для улучшения качества поверхностного слоя может явиться одним из резервов повышения эксплуатационных свойств изделий. Как показала практика эксплуатации, преждевременное разрушение ответственных деталей узлов и агрегатов современных машин в большинстве случаев носит усталостный характер. Поэтому особый интерес представляют результаты исследования влияния ультразвуковых методов обработки на сопротивление усталости при различных видах нагружения. Анализ кривых усталости показывает, что применение ультразвука при точении особенно с тангенциальными колебаниями, позволяет существенно повысить предел выносливости по сравнению с обычной обработкой (рис. 3) [3].

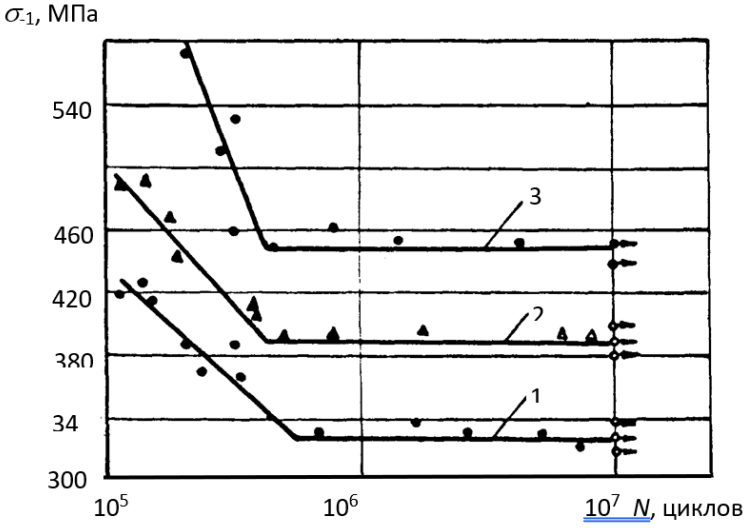


Рисунок 3 - Кривые усталости титанового сплава ВТ3-1 после УМО: *1* - обычное точение (V= = 15 м/мин; s = 0,07 мм/об; t= 0,5 мм); *2* - точение с радиальными колебаниями; *3* - точение с тангенциальными колебаниями; *2, 3* — f=20 кГц; ξ = 3 мкм

Эффективным методом повышения усталостной прочности является и ультразвуковое упрочнение, позволяющее повысить предел выносливости образцов из титанового сплава ВТ9 в среднем на 30% (рис. 4).

Эффективным методом повышения эксплуатационных характеристик режущего инструмента, работоспособности и надежности, является применение ультразвука. Как следует из анализа результатов испытаний, износ упрочненных резцов в 1,5-2,5 раза ниже, чем неупрочненных. С увеличением скорости резания различие в стойкости неупрочненных и упрочненных резцов уменьшается, однако и в этом случае

стойкость последних в 1,5-1,7 раза выше. Аналогичное влияние оказывает увеличение глубины резания и подачи [3].

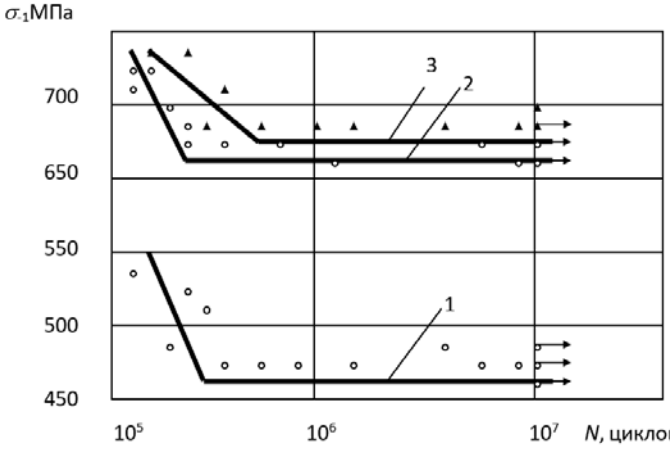


Рисунок 4 - Кривые усталости титанового сплава ВТ 9 после обычной и ультразвуковой обработки: *1* - шлифование (С3С16СМ1К; *v*=35 м/с; $v_д$=45 м/мин; *s*=0,005 мм/дв.ход; $s_{пр}$=2 мм/мин); *2* - накатывание ($P_{ст}$=750 Н; *v*=25 м/мин; *s*=0,1 мм/об; *d*=5 мм); *3* -ульразвуковое упрочнение ($P_{ст}$=150 Н; *v*=25 м/мин; *s*=0,1 мм/об; *ξ*=15 мкм; *d*=5 мм)

В результате проведенных исследований, выявлено влияние ультразвуковых колебаний на точность обработки. Применительно к различным процессам лезвийной обработки влияние ультразвука на точность характеризуется следующими средними показателями: [3]

точение – повышение коэффициента точности на 25-40%, уменьшение брака;

резьбонарезание – снижение рассеяния среднего диаметра резьбы на 20 -30% при одновременном уменьшении погрешности шага и угла профиля в 1,3-1,6 раза;

развертывание – снижение разбивки отверстия в 1,6-2,3 раза;

зубодолбление – снижение накопленной погрешности шага в 1,4 раза, уменьшение колебаний длины общей нормали на 15-20%, повышение плавности зацепления;

резьбонакатывание – снижение рассеяния среднего диаметра на 20-40%, повышение точности формы резьбы: отсутствие кратеров и расслоений, уменьшение высоты наплывов в 3-4 раза, снижение разновысотности зубьев по длине резьбы.

Применение ультразвука является эффективным средством повышения точности и при абразивной обработке. Так, при ультразвуковом суперфинишировании внутренних колец подшипников овальность колец и непараллельность базового торца оси желоба снижается на 10-15%; при ультразвуковом хонинговании овальность и конусность отверстий снижается в 1,5-2 раза. Во всех случаях наложение ультразвуковых колебаний сопровождается повышением стабильности контролируемых параметров и большей надежностью процесса [3].

Таким образом, использование ультразвуковых колебаний при механической обработке:

способствует снижению удельной энергоемкости процесса;

положительно влияет на работоспособность лезвийного и абразивного инструмента;

влияет на функциональные свойства поверхностного слоя, при введении в зону резания радиальных ультразвуковых колебаний степень и глубина упрочнения увеличивается по сравнению с обычным резанием;

повышает усталостную прочность, при этом положительный эффект достигается непосредственно в процессе формообразования без последующих операций упрочняющей технологии;

способствует улучшению микрогеометрии обработанной поверхности, как при лезвийной, так и при абразивной обработке;

оказывает влияние на точность обработки и является эффективным методом повышения эксплуатационных характеристик режущего инструмента.

Отсюда можно сделать вывод, что ультразвуковая механическая обработка является одним из методов ресурсосбережения при производстве и ремонте автомобилей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лянденбурский В.В. Основы ресурсосбережения на автомобильном транспорте: учеб. пособие / В.В. Лянденбурский, А.В. Рыбачков - Пенза: ПГУАС, 2014. - 216 с.

2. Измайлов А.Ю. Ресурсосбережение на автомобильном транспорте: учебное пособие / А.Ю. Измайлов, О.Н Дидманидзе, Г.Е. Митягин, А.М. Карев - М.: ООО УМЦ «Триада», 2016. - 84 с.

3. Нерубай М.С., Штриков Б.Л., Калашников В.В. Ультразвуковая механическая обработка и сборка. - Самара: Кн. изд-во, 1995. - 191 с.

УДК 621.113.066

Родимов Г.А.
Самарский государственный технический университет, Самара, Россия
pva_samara@mail.ru

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СБОРОЧНО-РАЗБОРОЧНЫХ РАБОТ

Аннотация. В результате проведенных исследований, на основании анализа разборочно-сборочных процессов и обработки информации по применению ультразвуковых колебаний обосновано использование ультразвука в ресурсосберегающих технологиях.
Ключевые слова: прессовые соединения, резьбовые соединения ресурсосбережение, ультразвуковые колебания, ультразвуковая сборка

Rodimov G.A.
Samara State Technical University, Samara, Russia
pva_samara@mail.ru

RESOURCE SAVING DURING ASSEMBLY AND DISASSEMBLY

Annotation. As a result of the conducted research, based on the analysis of disassembly and assembly processes and processing of information on the use of ultrasonic vibrations, the use of ultrasound in resource-saving technologies is justified.
Keywords: press connections, threaded connections, resource saving, ultrasonic vibrations, ultrasonic assembly

Важное место в организации деятельности предприятий автомобильного транспорта (АТП) занимают мероприятия, направленные на обеспечение экономии всех видов ресурсов, получение наивысшего качества обслуживания при минимальных материальных и трудовых затратах, с минимальным экологическим ущербом. Эти мероприятия предусматривают разработку стратегии планирования, распределения и обеспечения ремонтно-профилактических работ, а также тактики принятия оперативных решений в процессе производства. Глубина изучения причин потерь ресурсов и качество принимаемых организационных решений по их сокращению непосредственно влияют на материальное благополучие АТП [1].

Освоение методов ресурсосбережения базируется на знаниях устройства автомобилей, возможностей и правил использования технологического оборудования для их технического обслуживания, ремонта и диагностики (ТО, Р и Д), а также технологии выполнения операций [1].

Сборочно-разборочные работы являются одним из основных видов работ при выполнении текущего ремонта автомобилей в условиях автотранспортных и авторемонтных предприятий. Трудоемкость разборочно-сборочных работ составляет значительную долю в трудоемкости всех выполняемых операций при ТО и ТР автомобилей [2].

Необходимо отметить, что сборка является определяющим этапом производственного процесса и от нее в значительной мере зависит качество выполнения ремонтных работ. Сборка взаимосвязана со всеми предшествующими технологическими процессами и влияние качества сборки на качество выполняемых работ возрастает одновременно с ростом технического уровня автомобилей.

Рассмотрим ультразвуковую сборку, как метод ресурсосбережения. В качестве объектов исследований возьмем прессовые, резьбовые и прецизионные соединения с зазором, составляющие основную часть узлов машин и механизмов.

Исследования показали, что введение в зону соединения деталей ультразвуковых колебаний изменяет характер взаимодействия их поверхностей, что проявляется, в частности, в снижении усилий запрессовки во всем принятом диапазоне режимов. Из графиков рис.1 следует, что при сообщении валу из стали 45 продольных ультразвуковых колебаний происходит снижение $P_э$ в 3...20 раз, а при небольших натягах и значительной колебательной скорости практически падает до нуля [3,4].

На рис. 2 представлены результаты изменения $P_э$ в зависимости от величины натяга и амплитуды колебаний (f =20 кГц) при сборке деталей из стали ШХ15СГ (HRC 62...64), которые подтверждают сделанные выводы.

Увеличение амплитуды продольных колебаний вала при ультразвуковой сборке приводит к повышению статической прочности соединений (рис. 3.,*а*), причем наибольшая интенсивность роста $P_р$ по сравнению с обычной запрессовкой наблюдается при натягах 0,005 и 0,010 мм. Так, при сборке с ξ=5 мкм $P_р$ увеличивается в 1,5 раза (δ =0,005 мм) и в 2 раза (δ =0,010 мм), а при ξ=20 мкм соответственно в 3 и 3,5 раза. С увеличением натяга интенсивность роста прочности соединений замедляется: при ξ=20 мкм на 57% (δ =0,015 мм) и на 39% (δ =0,020 мм) выше по сравнению с соединениями, собранными обычным способом. Динамическое нагружение (пунктирные линии) снижает прочность соединений по сравнению со статическим, но

характер зависимости от параметров ультразвуковых колебаний и величины натяга сохраняется.

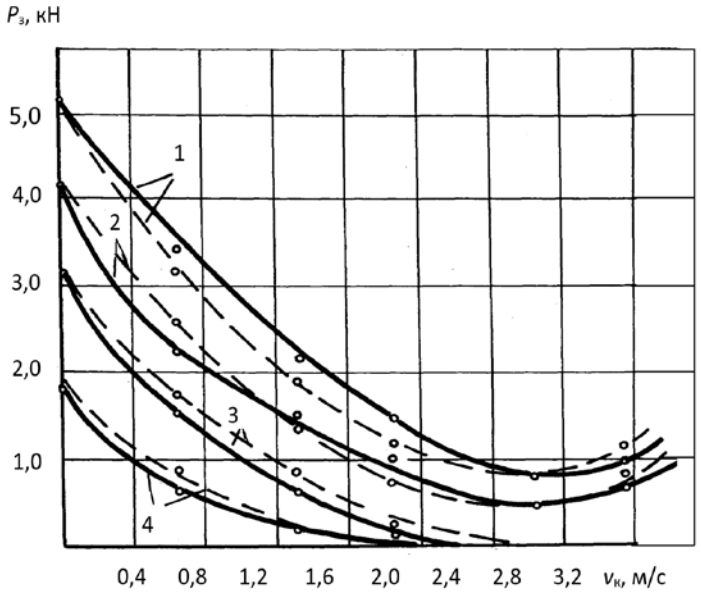


Рисунок 1 - Влияние колебательной скорости на усилие запрессовки:
1 - δ=0,020 мм; *2* - δ=0,015 мм;
3 - δ=0,010 мм; *4* - δ=0,005 мм
сплошная - эксперимент; пунктирная - расчетные значения

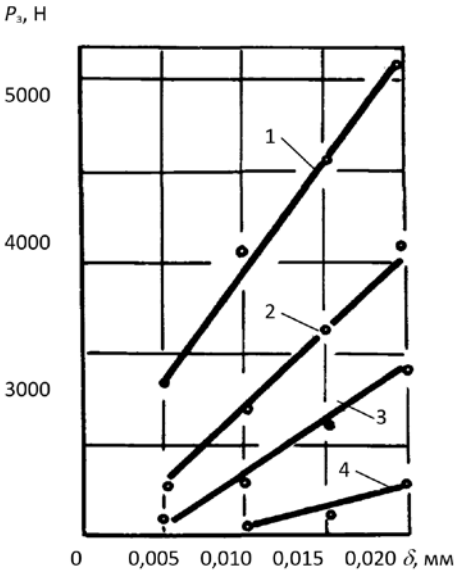


Рисунок 2 - Влияние натяга и амплитуды УЗК на силы запрессовки при сборке:
d=15 мм; *V*=0,0015 м/с;
1 - ξ =0; 2 - ξ =5 мкм;
3 - ξ =15 мкм; 4 - ξ =20 мкм

Анализ соединений, собранных по схеме с жестко закрепленным валом (рис. 3., б), на статическую прочность показывает, что хотя прочность и возрастает по сравнению с обычной сборкой, но она во всем исследованном диапазоне режимов остается меньше, чем в первом случае. Динамическое нагружение (пунктирные линии) снижает прочность соединений по сравнению со статическим, но характер зависимости от параметров ультразвуковых колебаний и величины натяга сохраняется. [3,4]

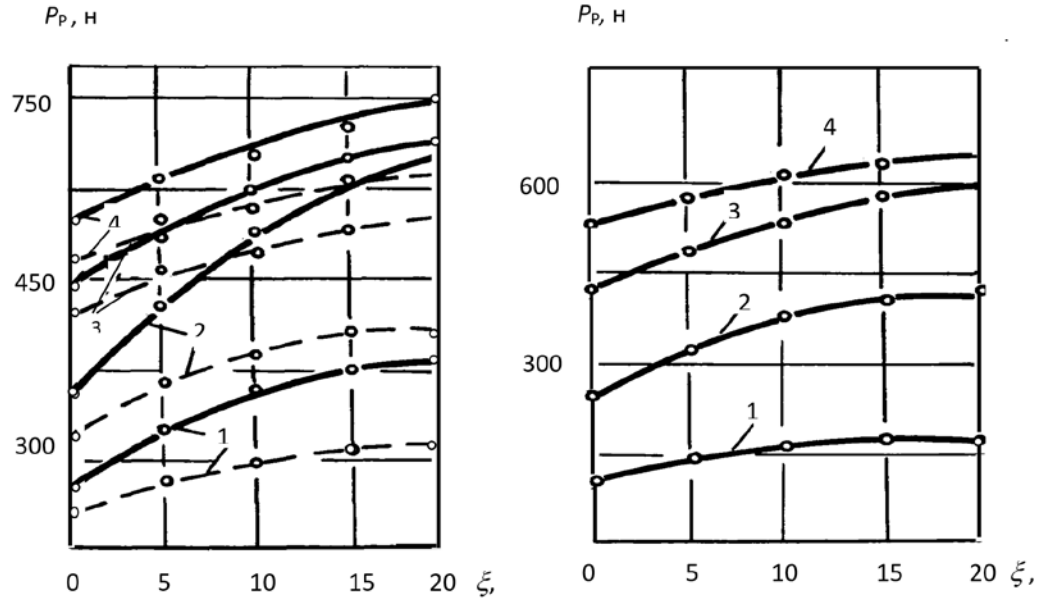


Рисунок 3 - Влияние натяга и амплитуды УЗК на прочность при осевом сдвиге:
а- продольные колебания сообщаются не закрепленному валу; *б* – вал жестко крепится к концентратору; Сталь ШХ15СГ – сталь ШХ15СГ; *d*=15 мм;
1 - δ=0,005; *2* - δ=0,010; *3* - δ=0,015; *4* - δ=0,020 мм;
сплошная - статическая прочность; пенктирная - динамическая прочность

Исследования физического состояния поверхностного слоя, позволяют сделать вывод, что основным фактором влияющим на повышение эксплуатационных показателей прессовых соединений, является увеличение фактической площади контакта соединяемых деталей. При обычной сборке происходит срезание микронеровностей, а ультразвуковая сборка способствует их сохранению. Возрастает прочность соединений,

поскольку увеличивается глубина деформационного упрочнения посадочных поверхностей деталей. Поэтому ультразвуковая сборка является перспективным направлением, обеспечивающим технологическое управление качеством соединений. [3]

Как известно достигнутая при сборке точность теряется через некоторое время после начала работы соединения вследствие приработки поверхностей.

Использование ультразвуковых колебаний малой амплитуды является одним из перспективных направлений повышения точности подвижных соединений за счет образования в процессе сборки равновесной шероховатости на контактирующих поверхностях. Иными словами за счет совмещения процесса сборки с процессом приработки. [5]

Исследования показали, что достижение равновесной шероховатости в условиях высокочастотного ультразвукового взаимодействия поверхностей происходит в зависимости от физико-механических характеристик материалов в течение 5...30 секунд.

На рис. 4 представлен график образования равновесной шероховатости при сопряжении вала и втулки из стали 45, из которого следует, что через 6...8 секунд образуется равновесная шероховатость, как на вале, так и на втулке. При этом увеличение времени контактирования поверхностей с ультразвуковыми колебаниями до 50...60 с. резко ухудшает поверхности, что связано с образованием мостиков сварки. Причем, эффективность процесса возрастает при сообщении колебаний детали с большей величиной шероховатости.

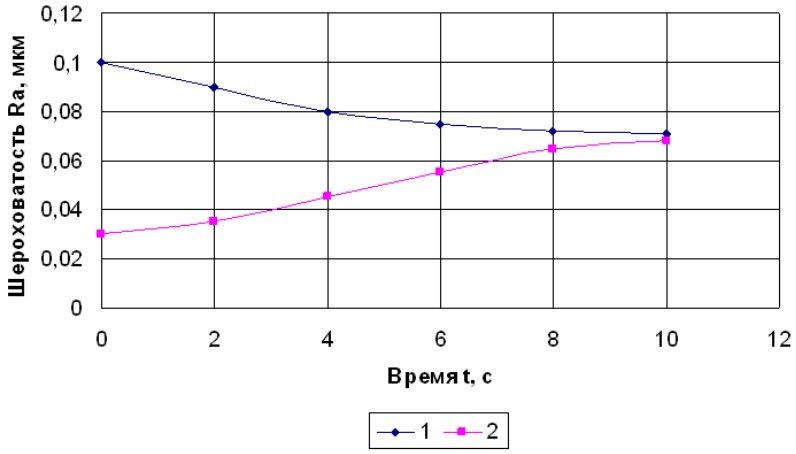


Рисунок 4 - Влияние времени приработки на образование равновесной шероховатости в соединении вал-втулка: материал деталей - сталь 45 (НВ200); ξ=10 мкм; V=0,05 м/с; 1 – втулка; 2 – вал

Установлено, что при приработке поверхностей деталей, твердости которых существенно отличаются, например, из закаленной и незакаленной сталей, ультразвуковые колебания можно сообщать только первой из них. В этом случае поверхность более мягкой детали приобретает шероховатость близкую к шероховатости закаленной детали. В то же время параметр R_a более твердой детали изменяется незначительно.

Таким образом, представленная технология позволяет повысить качество подвижных соединений за счет повышения точности путем формирования равновесной шероховатости в процессе сборки. [5]

Анализ результатов исследований ультразвуковой сборки подвижных соединений с образованием равновесной шероховатости показывает, что при определенном сочетании параметров ультразвуковых колебаний можно повысить прочность неподвижных соединений путем образования мостиков схватывания между посадочными поверхностями деталей, аналогично тому, как при ультразвуковой сварке.

Для осуществления сварки в твердой фазе поверхностей необходимо соблюдение трех условий [3]:

обязательная очистка сопрягаемых поверхностей от адсорбированных веществ и окисных пленок и обеспечение контакта между чистыми поверхностями;

максимальное увеличение площади фактического контакта сопряженных поверхностей;

обеспечение пластического течения металла в контакте.

Анализ физических особенностей ультразвуковой сборки позволяет сделать вывод, что процесс обеспечивает выполнение всех трех условий.

Предпосылками для образования мостиков схватывания является увеличение фактической площади контакта и температуры, а также снижение сопротивления пластической деформации.

Исследования показали, что прочность соединений значительно повышается, когда при достижении втулкой требуемой координаты взаимного положения относительно вала подаются продольные ультразвуковые колебания на обе детали с суммарной амплитудой, достаточной для образования мостиков схватывания в твердой фазе трением поверхностей друг о друга.

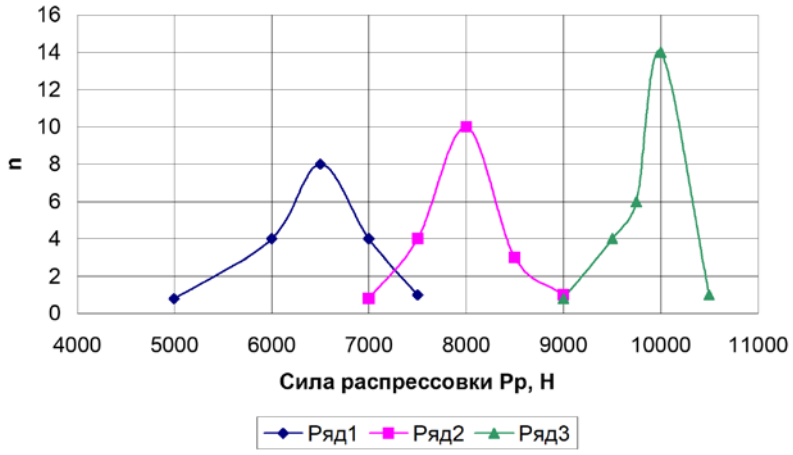
Суммарная амплитуда, достаточная для образования мостиков схватывания в твердой фазе трением поверхностей определяется зависимостью [3]:

$$\xi = \frac{N_{уд}}{2\pi\mu_{уз}p_0 f}$$

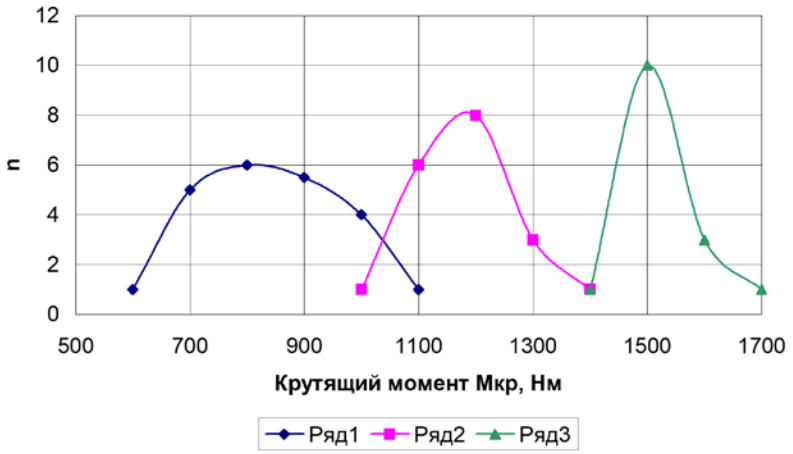
где $N_{уд}$ – удельная мощность тепловыделения необходимая для образования мостиков схватывания;

$\mu_{уз}$ – коэффициент трения между поверхностями деталей при воздействии на них ультразвуковыми колебаниями. [3]

На рис. 5 приведено распределение прочности соединений на сдвиг и кручение, собранных с различными натягами и амплитудами ультразвуковых колебаний. Анализ данных показывает, что P_p соединений с натягами $\delta = 0{,}005$мм и 0,02 мм отличается между собой не столь значительно (34%), как при сборке без дополнительного воздействия, где это различие составляет 86%. При этом повышение прочности соединений в первом случае составило 90%, а во втором - 54%.



а)



б)

Рисунок 5 - Распределение прочности на сдвиг (*а*) и кручение (*б*) в зависимости от натяга и амплитуды УЗК: *1* - δ=0,005 мм; ξ=30 мкм; *2* - δ=0,010 мм; ξ=15 мкм; *3* - δ=0,020 мм; ξ=7 мкм

Исследованиями установлено, что время, необходимое для образования мостиков схватывания составляет 4...6 секунд. Увеличение времени ультразвукового воздействия не оказывает существенного влияния на прочность соединений. [3]

Надежность работы резьбового соединения во многом определяется силами трения, возникающими при его образовании и влияющими как на усилие затяжки, так и на его стабильность. Изменение условий контактного взаимодействия поверхностей при сборке с применением ультразвука и протекающие при этом физико-химические процессы оказывают существенное влияние на показатели качества соединения. [4]

Эффективность воздействия ультразвуковых колебаний на процесс сборки и разборки резьбовых соединений оценивали по моменту затяжки $M_з$ и моменту, соответствующему началу развинчивания $M_р$, определявшимся в зависимости от амплитуды и направления ультразвуковых колебаний. На рис. 6 представлены результаты исследований, в которых затяжка резьбовых соединений производилась с ультразвуковыми колебаниями, а развинчивание - без колебаний.

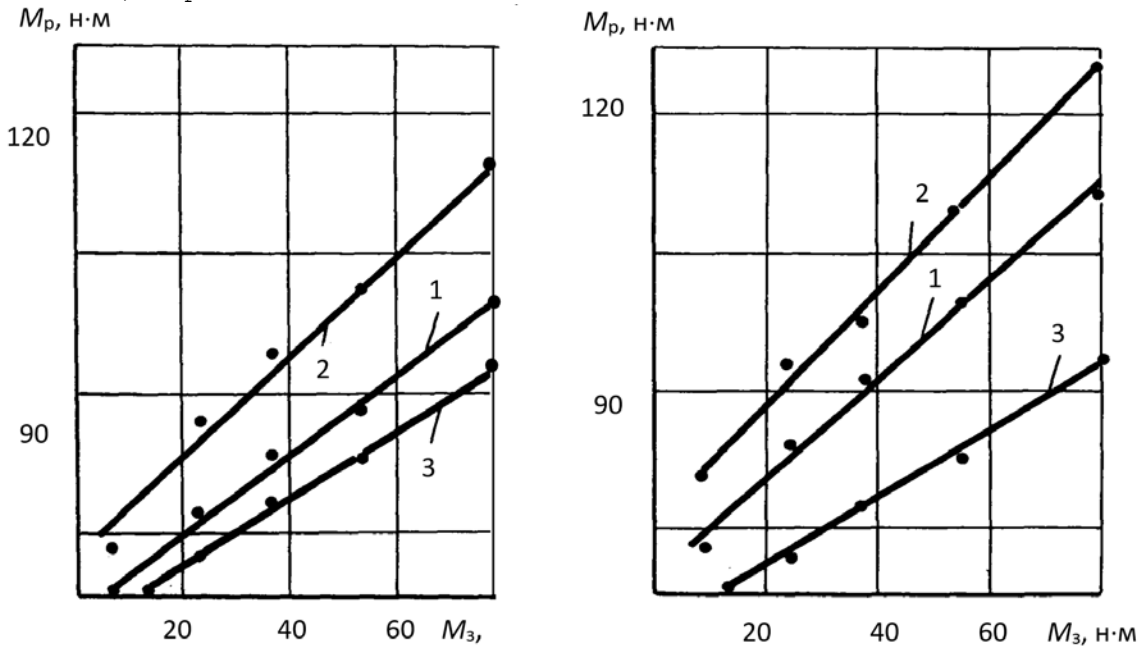


Рисунок 6 - Влияние направления и амплитуды УЗК на момент развинчивания соединений, собранных с УЗК: *а* - ξ=5 мкм; *б* - ξ=15 мкм; ***1*** – осевые УЗК; ***2*** – крутильные УЗК; ***3*** – соединение собрано и разобрано без УЗК

Установлено, что амплитуда и направление ультразвуковых колебаний оказывают определяющее влияние на параметры резьбового соединения. Одна из основных характеристик надежности резьбового соединения - усилие затяжки, представленное на графиках в виде ее производной величины - момента затяжки, пропорционально ξ. Так, если соединение было затянуто с

$M_з$ =80 н·м с наложением на болт М20×1,5 ультразвуковых колебаний амплитудой 5 мкм, то момент, необходимый для развинчивания, по сравнению с обычной сборкой увеличивается на 23%, а при ξ =15 мкм - на 59%.

Такое же увеличение прочности соединения можно достигнуть при ξ=5мкм, но при наложении на болт крутильных колебаний. В этом случае по сравнению с обычной сборкой рост амплитуды колебаний до 15 мкм увеличивает момент, необходимый для развинчивания соединений, почти в 2 раза. Еще большая эффективность использования колебаний наблюдается при меньших величинах моментов, прилагаемых при свинчивании. В частности, при ультразвуковой затяжке соединений с $M_з$=7,5 н·м момент развинчивания увеличивается в 3,5 раза при осевых колебаниях, и в 5,5 раз при крутильных по сравнению с обычной. [4]

Практический интерес представляет исследование влияния ультразвука на процесс развинчивания, что особенно важно при работе резьбовых соединений в тяжелых условиях (схватывание, коррозия, наличие посторонних включений). На рис. 7 представлены зависимости, характеризующие влияние направления и амплитуды колебаний, накладываемых на болт при разборке. Исследованиями установлено, что в этом случае при осевых и крутильных колебаниях с ξ=5 мкм при развинчивании соединений, затянутых с моментом 8 н·м и 20 н·м, $M_р$ = 0.

С увеличением момента затяжки соединения $M_р$ также увеличивается, оставаясь при этом значительно меньше величины момента, который необходимо приложить для развинчивания соединения без ультразвука. Например, чтобы разобрать соединение, затянутое с $M_з$=80 н·м, надо приложить $M_р$ при осевых колебаниях с ξ=5 мкм на 22%, а при ξ=15 мкм на 62% меньше по сравнению с обычным. Использование крутильных колебаний при этих же режимах дает снижение $M_р$ в 1,8 и 2,5 раза соответственно. [4]

Снижение момента развинчивания при наложении ультразвуковых колебаний на соединения в процессе их разборки обусловлено разрушением адгезионных и коррозионных связей в результате разрыва контакта между поверхностями.

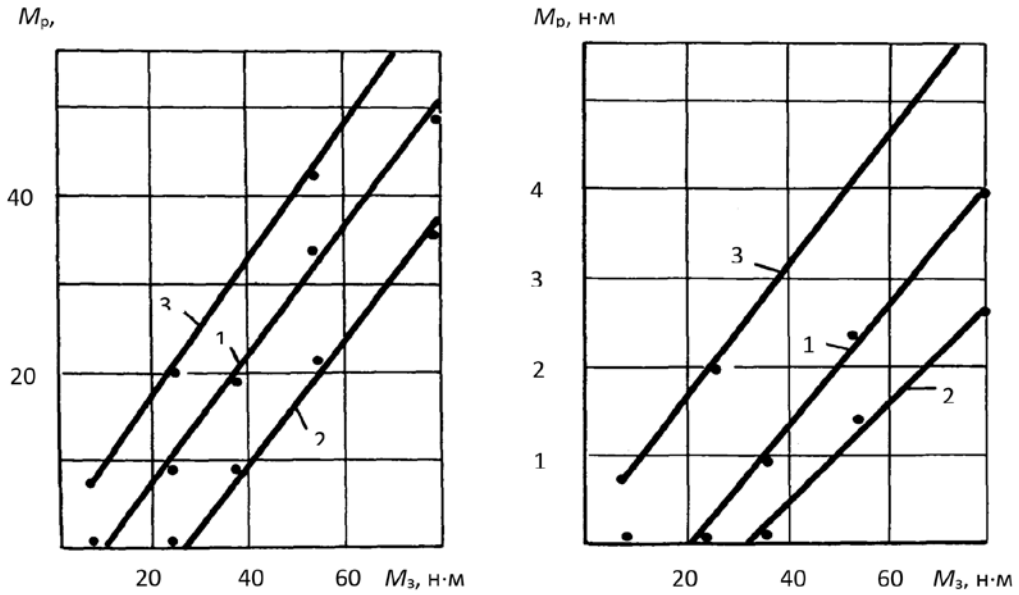


Рисунок 7 - Влияние направления и амплитуды УЗК на момент развинчивания соединений, собранных без УЗК: *а* - ξ=5 мкм; *б* - ξ=15 мкм; ***1*** – осевые УЗК; ***2*** – крутильные УЗК; ***3*** – соединение собрано и разобрано без УЗК

Таким образом, использование ультразвуковых колебаний при сборке:

снижает усилия запрессовки, что способствует снижению удельной энергоемкости процесса;

влияет на повышение эксплуатационных показателей прессовых соединений, за счет увеличения фактической площади контакта соединяемых деталей;

повышает прочность соединений, поскольку увеличивается глубина деформационного упрочнения посадочных поверхностей деталей;

повышает прочность прессовых соединений путем образования мостиков схватывания между посадочными поверхностями деталей;

повышает качество подвижных соединений за счет повышения точности путем формирования в процессе сборки равновесной шероховатости на контактирующих поверхностях, т.е. за счет совмещения процесса сборки с процессом приработки, что влияет на время обкатки автомобиля;

доказана эффективность воздействия ультразвуковых колебаний на процесс сборки и разборки резьбовых соединений, что ведет к снижению энергоемкости процесса;

увеличивается прочность соединения, в частности, при ультразвуковой затяжке соединений с $M_з$=7,5 н·м момент развинчивания увеличивается в 3,5 раза при осевых колебаниях, и в 5,5 раз при крутильных по сравнению с обычной сборкой.

влияния ультразвука на процесс развинчивания, особенно важно при разборке резьбовых соединений работающих в тяжелых условиях, подверженных коррозии, имеющих посторонние включения, схватывание и т.п. Развинчивание происходит без предварительной подготовки резьбового соединения, т.е. без смазки различными жидкостями, что приводит к сокращению времени и увеличивает производительность.

Таким образом, можно сделать вывод, что ультразвуковая сборка соответствует требованиям ресурсосбережения и является одним из перспективных методов экономии ресурсов при выполнении разборочно-сборочных работ на АТП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лянденбурский В.В. Основы ресурсосбережения на автомобильном транспорте: учеб. пособие / В.В. Лянденбурский, А.В. Рыбачков – Пенза: ПГУАС, 2014. – 216 с.

2. Туревский И.С. Техническое обслуживание автомобилей зарубежного производства: учебное пособие. – М.:ИД «ФОРУМ»: ИНФРА – М, 2011. – 208 с.

3. Штриков Б.Л., Родимов Г.А, Тепляков А.Ю., Хан Ф.Р. Повышение эффективности сборки прессовых соединений путем применения ультразвука / Сборка в машиностроении, приборостроении. 2002. № 8. С. 2-6.

4. Штриков Б.Л. Ультразвуковая сборка / Б.Л. Штриков, В.В. Калашников. – М.: Машиностроение -1, 2006. – 226 с.

5. Родимов Г.А., Папшев В.А., Шапошников С.Д. Повышение точности подвижных соединений при ультразвуковой сборке / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Самара: Издательство Самарского научного центра РАН. – Том 15, №4(2) 2013. – с. 399-401

УДК 681.586.5.

Бростилов[1] С.А., Бростилова[2] Т.Ю., Абукаримов[3] А.К.

[1,2,3] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Аннотация. В данной статье рассмотрены устройство и принцип действия измерительной установки для определения конструктивных параметров волоконно-оптического датчика давления. Предложенная установка позволяет исследовать волоконно-оптические преобразователи микроперемещений (определение работоспособности, оптимальных конструктивных параметров волоконно-оптического датчика давления). Кроме того, данная установка проста, надежна, не требует сложных технологических, юстировочных и измерительных операций при изготовлении оптической части.

Ключевые слова: измерение, волоконно-оптический кабель, давление, микроперемещения, фотоприемник, блок индикации

Brostilov[1] S.A., Brostilova[2] T.Yu., Abukarimov[3] A.K.

[1,2,3] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

THE DEVICE AND PRINCIPLE OF OPERATION OF A MEASURING INSTALLATION FOR DETERMINING THE DESIGN PARAMETERS OF A FIBER-OPTIC MICROTRANSMISSION CONVERTER

Annotation. This article discusses the device and the principle of operation of a measuring device for determining the design parameters of a fiber-optic pressure sensor. The proposed installation makes it possible to investigate fiber-optic micro-displacement converters (determination of operability, optimal design parameters of a fiber-optic pressure sensor). In addition, this installation is simple, reliable, and does not require complex technological, alignment, and measurement operations in the manufacture of the optical part.

Keywords: measurement, fiber-optic cable, pressure, micro-displacement, photodetector, display unit

Для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров волоконно-оптического преобразователя микроперемещений (ВОПМП), а также для исследования работоспособности волоконно-оптического датчика давления (ВОДД) была разработана измерительная установка со специально разработанным нестандартизованным оптическим тестером, схема которой приведена на рисунке 1

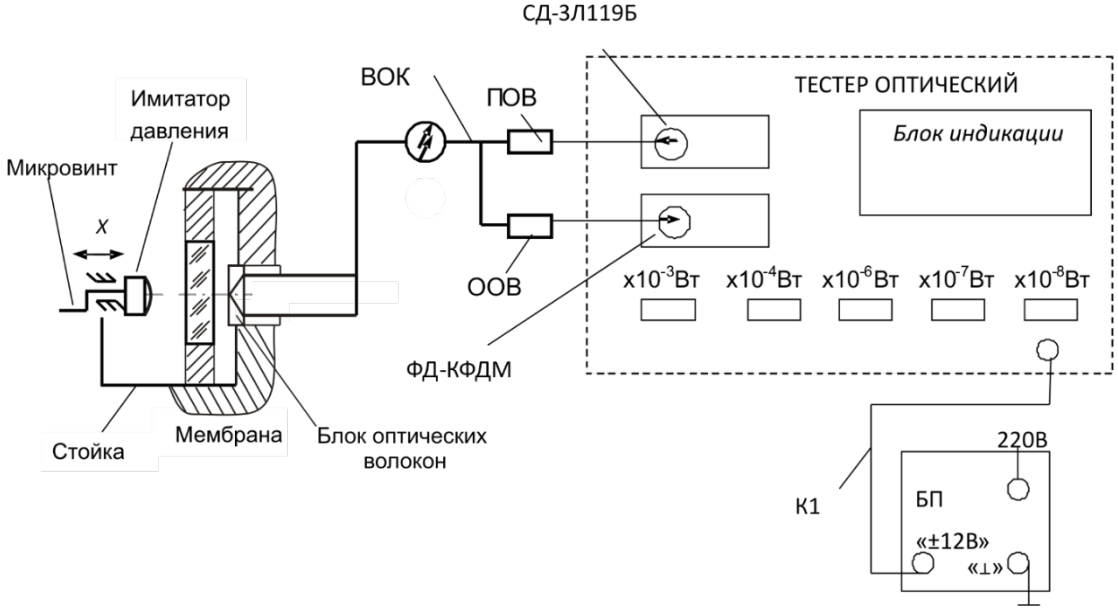


Рисунок 1 – Схема экспериментальных исследований ВОПМП

В частности, с помощью данной установки проводилась экспериментальная отработка возможных вариантов исполнения блока оптических волокон для ВОПМП.

Лабораторный макет измерительной установки для снятия экспериментальной зависимости $\Phi/\Phi_0=f(P)$ состоит из тестера оптического, блока питания, волоконно-оптического кабеля, соединительного электрического кабеля К1, мембранного блока, блока оптических волокон, втулки, микровинта для задания перемещения по оси X, основания для крепления мембранного блока, блока оптических волокон, втулки.

Оптический тестер выполнен в виде малогабаритного переносного прибора состоящий из: блока индикации (БИ), электрооптического преобразователя СД-3Л107Б, фотоэлектрического преобразователя ФД-КФДМ и соединительного кабеля К1.

Выходные и входные оптические разъемы предназначены для соединения с оптическими волокнами датчика, заключенными в стандартный наконечник диаметром 2,5 мм и длиной 8 мм. Кнопки переключения диапазона измерения предназначены для выбора нужного диапазона измерения. Диапазон измерения оптической мощности изменяется за счет переключения коэффициента масштабирования усилителя.

Принцип действия тестера оптического основан на преобразовании электрического сигнала в оптическое излучение, направляемого в зону измерения, и оптического излучения, поступающего из зоны измерения на фотоприемник, в электрический сигнал.

Измерение оптической мощности производится в Ваттах в диапазоне волн (0,85 ± 0,1) мкм.

Подводящие и отводящие оптические волокна собраны в ВОК. Для изготовления ВОК использовались «кварц-кварцевые» оптические волокна ТХО.735.123 ТУ, имеющие внешний диаметр $d_{ОВ}$ = 500 мкм, диаметр сердцевины $d_{С}$ = 200 мкм.

Оптические разъемы (вилки) ВОК соединяются посредством оптических разъемов (розеток) тестера оптического с источником излучения – светодиодом типа ЗЛ107Б и приемником излучения – фотодиодом типа КФДМ, соответственно, таким образом, чтобы торцы передающих оптических волокон находились напротив источника излучения, а приемных оптических волокон – напротив приемника излучения.

Микровинт марки ГЛМ-251 предназначен для задания перемещения грибка (имитации давления) вдоль оси X (продольная ось датчика давления). Технические характеристики микровинта представлены в таблице 1

Технические характеристики микровинта ГЛМ-251 Таблица 1

Параметры, единицы измерения	Значение
Диапазон, мм	0…25
Погрешность, мм	±0,0005
Цена деления, мм	0,001

Рассмотрим принцип действия измерительной установки. На оптический тестер подается напряжение питания (12±5)В от внешнего источника постоянного тока Б5-6 (блок питания БП). Блок питания питается от сети переменного напряжения 220 В частотой 50 Гц. Оптическое излучение с преобразователя СД-ЗЛ107Б по ПОВ попадает на мембрану. Отражаясь, световой поток попадает в ООВ, по которым поступает на преобразователь ФД-КФДМ. Электрический сигнал (амплитуда) фотоприемника усиливается входным усилителем, далее поступает на вход АЦП. На выходах АЦП формируется 3,5-разрядный цифровой код, значение которого соответствует измеряемой мощности в ваттах. С АЦП цифровой код поступает на устройство индикации, где отображается на полупроводниковых индикаторах.

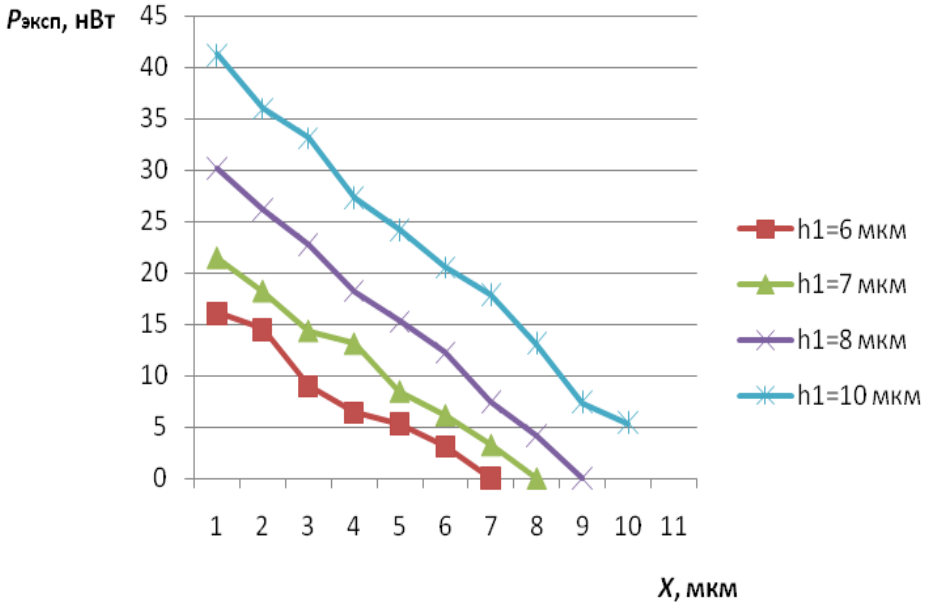
Давление воспроизводится (имитируется) путем перемещения грибка микровинта вдоль оси X в диапазоне 0…9 мкм, по показаниям тестера оптического снимаются значения оптической мощности.

Показания тестера оптического сведены в таблице 2. По полученным результатам были построены графические зависимости $P_{эксп} = f(X)$ (рисунок 2).

В результате анализа полученных зависимостей, был сделан следующий вывод – наиболее эффективный ввод оптического излучения в ООВ достигается при h_1=10 мкм.

Результаты экспериментальных исследований ВОПМП Таблица 2

Перемещение имитатора давления, X, мкм	Показания тестера оптического, $P_{эксп}$, нВт			
	при h_1=6 мкм	при h_1=7 мкм	при h_1=8 мкм	при h_1=10 мкм
0	16,12	21,44	30,18	41,25
1	14,48	18,21	26,12	36,02
2	9,02	14,33	22,75	33,14
3	6,38	13,1	18,21	27,29
4	5,33	8,46	15,25	24,18
5	3,12	6,14	12,24	20,54
6	-	3,25	7,45	17,86
7	-	-	4,18	13,11
8	-	-	-	7,42
9	-	-	-	5,37
10	-	-	-	-



h_1 - расстояние от мембраны до плоскости соединения волокон;
X – прогиб мембраны; $P_{эксп}$ – оптическая мощность
Рисунок 2 - Результаты экспериментальных исследований

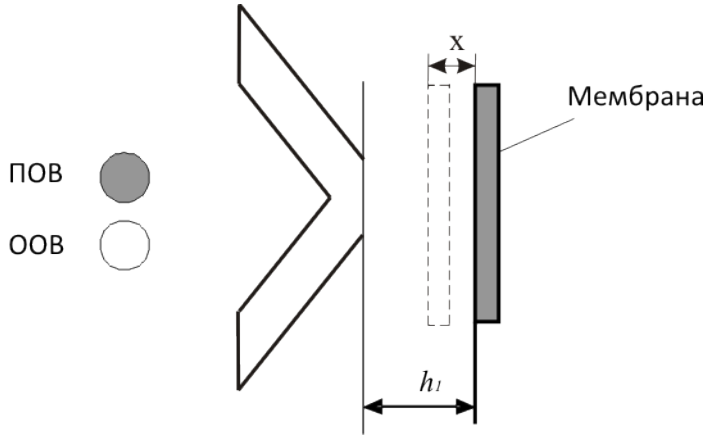


Рисунок 3 – Схема расположения оптических волокон и мембраны в экспериментальной установке

В качестве источника излучения используется светодиод СД-3Л107Б, в качестве приемника излучения - фотодиод ФД-КФДМ. Принцип действия тестера оптического при измерении оптической мощности основан на преобразовании излучения фотоприемником в электрический сигнал. Измерение оптической мощности производится на диапазоне волн (0,85±0,1) мкм в Ваттах. При измерении в Ваттах электрический сигнал фотоприемника усиливается входным усилителем, затем преобразуется аналого-цифровым преобразователем и индицируется цифровым табло тестера оптического.

Предложенная установка позволяет исследовать волоконно-оптические преобразователи микроперемещений (определение работоспособности, оптимальных конструктивных параметров ВОДД). Кроме того, данная установка проста, надежна, не требует сложных технологических, юстировочных и измерительных операций при изготовлении оптической части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волоконно-оптический датчик давления на основе туннельного эффекта / С.А. Бростилов, Т.И. Мурашкина, Т.Ю. Бростилова// Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. Пенза: Изд-во ПГУ 2010 г., с.106-117.

2. Особенности конструктивного исполнения волоконно-оптического преобразователя микроперемещений/С.А. Бростилов //Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. - 2011. - Спец. Выпуск № 2. - с.27-32.

3. Бростилов С.А., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г., Граевский О.С. Модернизация волоконно-оптического датчика давления на основе туннельного эффекта// Труды международного симпозиума «Надежность и качество» 25-31 мая 2009, Том 1. Пенза: Изд-во ПГУ 2009 г., с.395-398.

УДК 629.039.58

Шолохов[1] П.А., Еремцов[2] Д.Д., Абнер[3] М.Д., Гарькаева[4] М.П., Баннов[5] В.Я.
[1,2,3,4,5] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1] kipra@pnzgu.ru

СПОСОБЫ САМОУНИЧТОЖЕНИЯ УСТРОЙСТВ

Аннотация. Повсеместное увлечение беспилотными летательными аппаратами привело к возникновению определенных трудностей, которые прежде всего затронули безопасность воздушного пространства. В данной работе предложено несколько способов полного уничтожения беспилотных летательных аппаратов в случае, если он попал к противнику, а именно блок управления к устройству самоуничтожения и внедрение наночастиц металла в корпус беспилотного летательного аппарата.
Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, блок управления, наночастицы металла

Sholokhov[1] P.A., Yeremtsov[2] D.D., Abner[3] M.D., Garkaeva[4] M.P., Bannov[5] V.Ya.
[1,2,3,4,5] Penza State University, Penza, Russia
[1] kipra@pnzgu.ru

WAYS TO SELF-DESTRUCT DEVICES

Annotation. The widespread fascination with unmanned aerial vehicles has led to certain difficulties, which primarily affected the safety of airspace. In this paper, several methods are proposed for the complete destruction of unmanned aerial vehicles in case it falls to the enemy. Namely, the control unit for the self-destruct device and the introduction of metal nanoparticles into the body of an unmanned aerial vehicle.
Keywords: unmanned aerial vehicle, control unit, metal nanoparticles

Введение

Большинство мировых стран заинтересовано в создании перспективных образцов боевых летательных аппаратов (БЛА) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Отличие от этих двух систем в том, что БЛА при передвижении не может программироваться заранее, он управляется с земли через навигационную систему, тогда как БПЛА обладает разной автономностью: от дистанционной до автоматической (рис. 1). Такие конструкции выполняют свои задачи четко и без ошибок. Работая круглосуточно, они намного выносливее любого пилота. Это особенно актуально, если БПЛА предстоят полеты в потенциально опасной воздушной среде, в условиях значительных перегрузок.

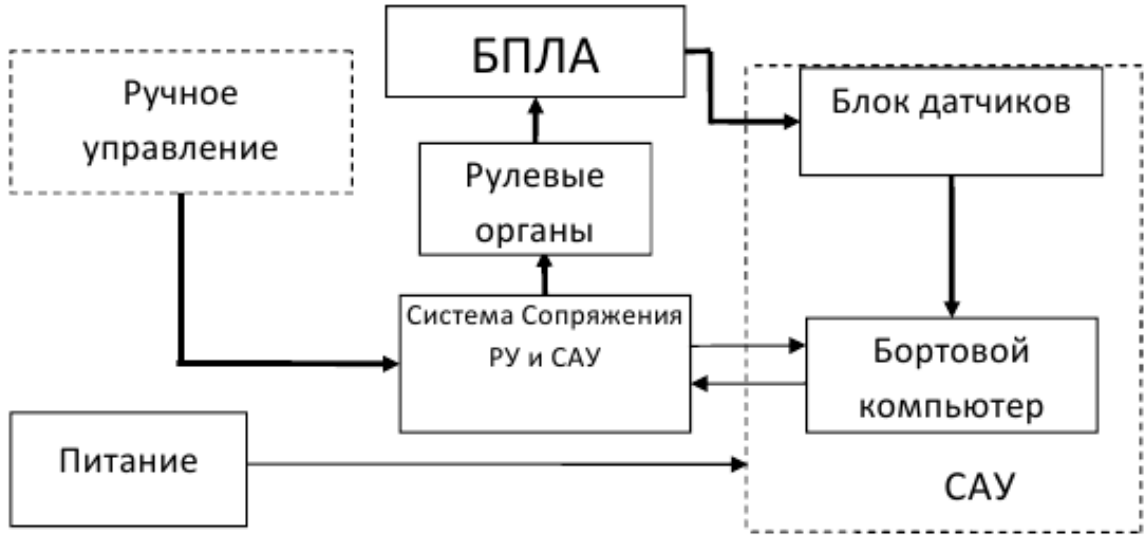


Рисунок 1 – схема структуры БПЛА

Как показано на рисунке 1 БПЛА состоит из трех систем: системы ручного управления и автоматического управления, а также системы их сопряжения. Системы автоматического и ручного управления прикреплены к системе сопряжения для взаимодействия друг с другом.

В системе автоматического управления (САУ) находятся блок датчиков и бортовой компьютер, а также подключено питание БПЛА.

В современном мире технологии играют все более важную роль в различных сферах жизни, включая оборонную сферу и сферу безопасности.

Одним из примеров технических разработок в области безопасности является блок управления к устройству самоуничтожения.

Блок управления к устройству самоуничтожения

Блок управления к устройству самоуничтожения представляет собой компонент системы, который отвечает за инициирование и координацию процесса уничтожения

устройства в случае угрозы его захвата или использования против его владельца. Это может быть частью военной техники, такой как дроны, танки или другие боевые машины, а также использоваться в целях безопасности, например, для защиты конфиденциальных данных или взрывоопасных материалов. На рисунке 2 показан состав устройства ликвидации.



Рисунок 2 – Состав устройства ликвидации

На рисунке 2 изображен выход источника питания 1, который соединен с входом блока управления 5, к управляющему входу которого подключена входная шина 9, а выход которого соединен с первым входом устройства коммутации состояния 6. Управляющий вход устройства коммутации состояния 6 подключен к шине управления 10, второй вход через последовательно соединенные траекторные датчики 7 и 8 - к выходу источника питания 1. Первый выход устройства коммутации состояния 6 подключен к входу траекторного датчика 4, выход которого соединен с вторым выходом устройства коммутации состояния 6 и входом электродетонатора 2, входящего в состав устройства ликвидации 3.

Основные возможности блока управления:

автоматическое обнаружение угрозы: блок управления обычно оснащен датчиками, которые могут обнаруживать различные типы угроз, такие как вмешательство в систему управления или попытки захвата устройства;

программируемые параметры: владелец может настроить различные параметры срабатывания устройства самоуничтожения в зависимости от конкретной ситуации и уровня угрозы;

система предупреждения: в случае активации блок управления может предоставить предупреждение окружающим об опасности для предотвращения непреднамеренного воздействия.

Риски и проблемы использования блока управления к устройству самоуничтожения:

нежелательные срабатывания: существует риск ложного срабатывания устройства, что может привести к непреднамеренному уничтожению оборудования или данных;

этические соображения: использование таких устройств вызывает этические вопросы, связанные с потенциальным ущербом для гражданских объектов или невинных лиц в зоне действия устройства.

безопасность и защита от взлома: блоки управления могут стать объектом информационных атак или взлома, что создаст реальную угрозу для безопасности и стабильности системы.

Блок управления к устройству самоуничтожения представляет собой мощный инструмент в области безопасности и обороны, но его использование сопряжено с серьезными рисками и требует тщательного анализа и контроля.

Наночастицы металла в корпусе

Также для самоуничтожения разрабатывают внедрение в структуру полимерных пластиков, из которых состоит корпус БПЛА, наночастицы металлов, которые можно воспламенить компактным лазером (рис. 3).

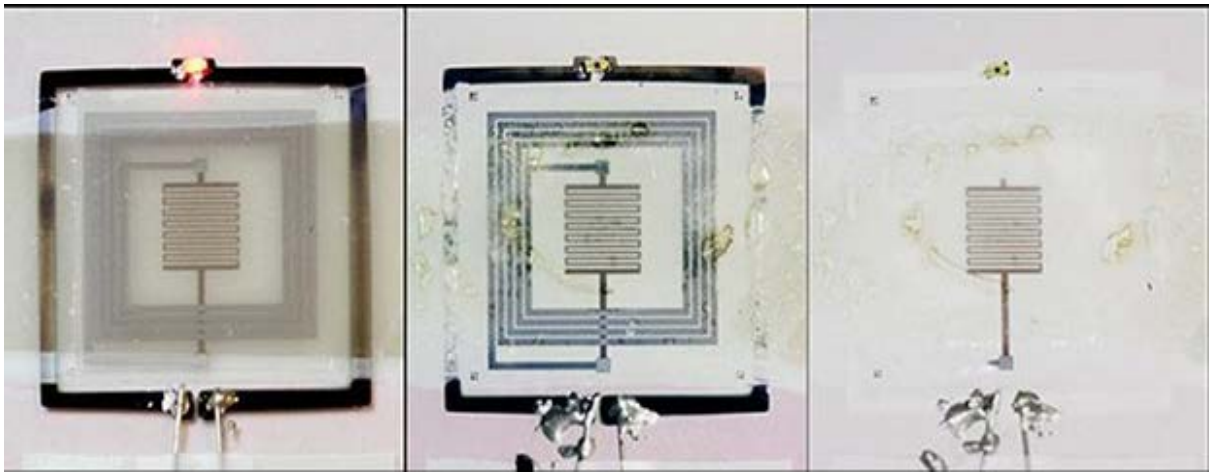


Рисунок 3 – Микросхема с наночастицами металла

Для отработки метода предложили создать полимерные пленки и вставки, которые позволяли бы провести контролируемое разделение деталей оборудования,

Единственным решением в ситуации, когда БПЛА не в руках владельца, может являться контролируемое самоуничтожение устройства. Тем не менее, механические способы разрушения носителей информации, существующие на данный момент, не дают полной гарантии, что данные нельзя будет восстановить.

Наиболее надежным решением является воздействие высокими температурами, которые могут быть достигнуты при горении специальных составов. Однако к таким составам существует целый ряд требований для их безопасного применения: отсутствие пламени, искр, дыма и токсичных продуктов горения. Также не менее важным является применение недорогих компонентов, которые будут доступны при достаточно массовом применении.

В настоящее время разработан новый состав, относящийся к классу термитов. Изначально так называли смесь железной окалины и порошка алюминия, однако сейчас это определение применяется к двухкомпонентным смесям вида металл (или реже неметалл) – оксид металла.

Разработанная смесь из кремния и оксида железа позволяет получить высокую температуру и при этом не выделяет газы при горении. Этот состав не выделяет большие объемы продуктов горения, поэтому безопасен для корпуса устройства. Кроме того, в нем нет алюминия, из-за которого могли бы образовываться горячие растекающиеся по носителю жидкие продукты горения. Состав обладает значительной фоточувствительностью, поэтому может быть подожжен маленьким лазером.

Заключение

Эффективная реализация таких устройств должна быть сбалансирована между необходимостью защиты и минимизацией негативных последствий.

В то же время такого самоуничтожения может быть недостаточно. В случае с различными БПЛА носителем информации может быть не только запоминающее устройство, но и другие отдельные детали и узлы изделия. Для полного их уничтожения и были предложены вышерассмотренные методы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 2343399 РФ, МПК F42C 9/00. Устройство для самоликвидации ракеты / Косарев А. А., Островский О. А., Шишкин Г. И.; №2007117983; заявл. 14.05.2007, зарег. 10.09.2009.
2. Патент 2479822 РФ, МПК F42B3/182. Электронное устройство самоликвидации боеприпаса / Шаврин А. Г., Удовиченко В. Н., Антипов С. И., Шанина Л. В., Котик А. В., Зорькин А. Н.; №2011145263; заявл. 07.11.2011, зарег. 20.04.2013.
3. Сайт «https://www.karneev.com/stati/sredstva-borby-s-bespilotnikami/»
4. Сайт «https://www.muctr.ru/news/obrazovanie-i-nauka/uchenye-rkhtu-razrabotali-metod-ekstrennogo-samounichtozheniya-nositeley-vazhnoy-informatsii/»
5. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования. / П.П. Афанасьев, И.С. Голубев, В.Н. Новиков, С.Г. Паравесь, М.Д. Пестров, И.К. Туркин / Под редакцией И.С. Голубева и И.К. Туркина. – изд. второе, переработанное и дополненное. – М.:2008. – 656 с.
6. Надежность летательных аппаратов: Учеб. пособием/ С.К. Кириакиди, В.А. Сатин и др. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2009, 107 с.

УДК 629.039.58

Шевандронов[1] Н.А., Бростилова[2] Т.Ю., Бростилов[3] С.А.

[1,2,3] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] shewandronov.nikita@yandex.ru

[2] tat-krupkina@yandex.ru

[3] brostilov@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГИИ В ТРАНСПОРТЕ И ОБЪЕКТАХ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация. Генерация водорода для двигателя внутреннего сгорания направлена на продление эксплуатационных характеристик и удешевление эксплуатации, что позволит существенно улучшить качество воздуха и сократить экономические затраты.

Ключевые слова: водород, газ Брауна, раскоксовка, двигатель внутреннего сгорания, нагар, камера внутреннего сгорания

Shevandronov[1] N.A., Brostilova[2] T.Yu., Brostilov[3] S.A.

[1,2,3] Penza State University, Penza, Russia

[1] shewandronov.nikita@yandex.ru

[2] tat-krupkina@yandex.ru

[3] brostilov@yandex.ru

APPLICATION OF HYDROGEN ENERGY IN TRANSPORT AND SMALL-SCALE ENERGY FACILITIES

Annotation. Hydrogen generation for the internal combustion engine is aimed at extending performance and reducing the cost of operation, which will significantly improve air quality and reduce economic costs.

Keywords: hydrogen, Brown gas, coking, internal combustion engine, carbon deposit, internal combustion chamber

Введение

При эксплуатации двигателей внутреннего сгорания возникают проблемы загрязнения воздуха и экономических затрат из-за использования некачественных технических жидкостей. Именно это приводит к серьезным сбоям и неудовлетворительным эксплуатационным характеристикам.

Многие автовладельцы сталкиваются с проблемой загрязнения воздуха и экономических затрат из-за использования некачественных технических жидкостей в двигателях внутреннего сгорания. Именно это приводит к серьезным сбоям и неудовлетворительным эксплуатационным характеристикам.

Водороднинг — экологически чистый способ. Он не оставляет вредных едких отходов. В отличие от химической очистки, которая использует агрессивные химикаты, водородная основана на реакции гремучего газа с отложениями углерода. Тепловая энергия превращает отложения в воду и углекислый газ, которые безопасно удаляются из системы.

Газ Брауна (гремучий газ) — смесь водорода и кислорода с соотношением 2:1, которая образуется при электролизе воды. Вещество получило свое название в честь американского химика Юла Брауна. Он впервые протестировал смесь на стендовой модели, рассказал про ее свойства в научной работе.

Газ Брауна обладает свойствами, которые делают его полезным для водородной очистки автомобильных двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Это безопасный газ без токсинов в составе. При сгорании образуется только вода. У смеси высокая энергоемкость. Ее используют как топливо в моторах с установкой электролиза. При сгорании газ выделяет много тепла, улучшая детонацию топливовоздушной смеси (ТВС).

У газа особенодин кислорода. Смесь получается при расщеплении обычной воды (H2O) в электролизере. При сгорании гремучий газ высвобождает быстрым импульсом много тепловой энергии, которая помогает «растворить» углеродные соединения. На этом принципе и построен процесс очистки.

Водородная очистка эффективна для удаления твердых наростов, которые трудно убрать другими методами. Можно долго вымачивать химикатами наросты в двигателе, но 40-60 % нагара останется на своем месте. Особенно в старых автомобилях с большим пробегом. Еще один минус кислотных составов — агрессивность. Едкие соединения способны растворить сальники, нанести урон металлическим деталям силового агрегата.

Присадки в топливо не слишком эффективны. Большая концентрация вызовет проблемы со сгоранием смеси, а малая покажет низкую эффективность. Поэтому для тотальной химической очистки придется снимать ГБЦ, наносить раствор и ждать растворения налета 5–10 часов. Напомним про безопасность. Нет ничего проще пролить реагент на открытую кожу и получить ожог. Большинство химических средств

токсичны, поэтому надо делать очистку на свежем воздухе или в хорошо проветриваемом помещении.

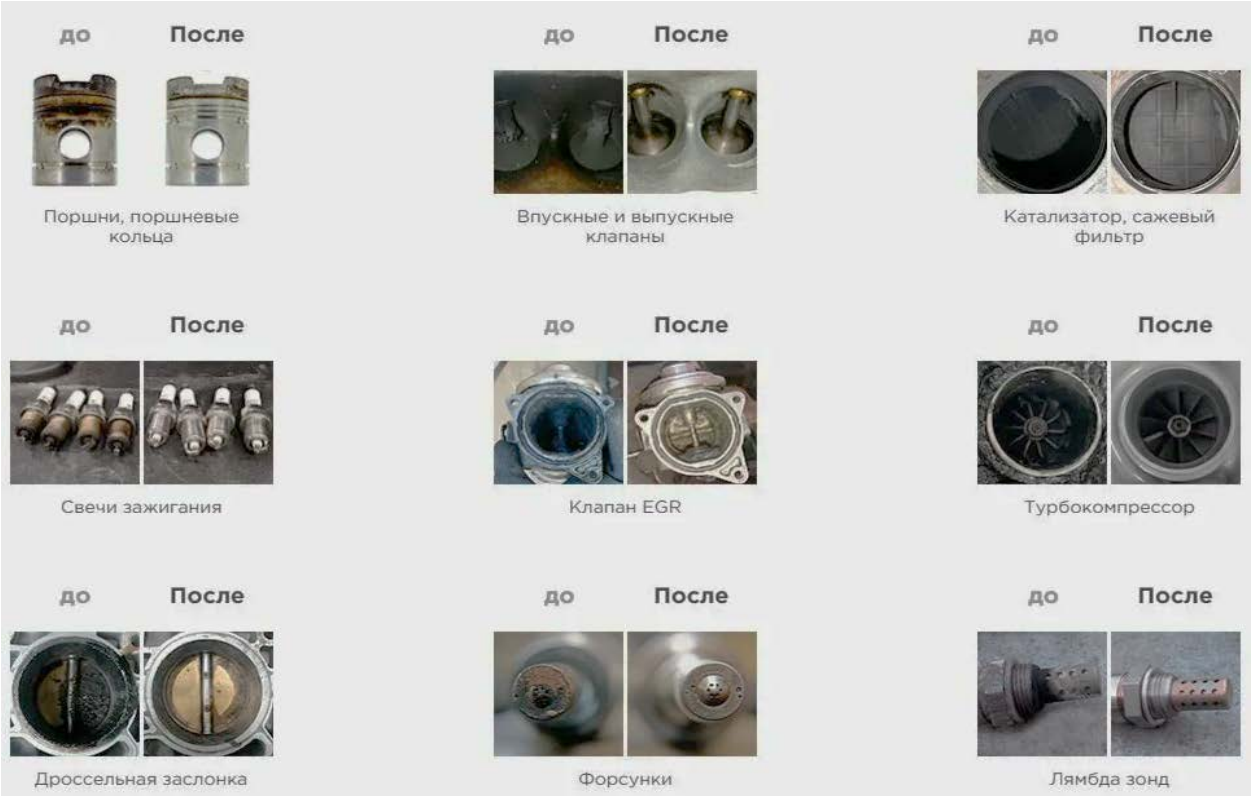


Рисунок 1 - Элементы до и после очистки

Генерации водорода для очистки двигателя внутреннего сгорания направлен на решение этих проблем, обещая ощутимые результаты. Технология генерации водорода эффективно и бюджетно очищает двигатель внутреннего сгорания, повышает ресурс всех его деталей и способствует более мощному разгону. Это помогает снизить расход топлива и масла, а также улучшить компрессию и устойчивость работы двигателя, что в свою очередь снижает шумность и предотвращает серьезные поломки. Не менее важно, что проект направлен на продление эксплуатационных характеристик и удешевление эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, что позволит существенно улучшить качество воздуха и сократить экономические затраты.

Автомобильный двигатель может нуждаться в очистке на молекулярном уровне, когда происходит перерасход топлива, дымление мотора после запуска, или плохой запуск «на холодную». Технология очистки двигателя путем подачи водорода и кислорода в камеру сгорания способна решить эти проблемы.

Помимо этого, появление запаха гари в выхлопных газах и падение оборотов двигателя также могут свидетельствовать о необходимости проведения очистки. Необходимость проведения данной процедуры также может быть диагностирована по некоторым сигнальным моментам, таким как перерасход топлива и масла, троение мотора после запуска или дымление при работающем двигателе.

Главным преимуществом технологии является возможность эффективного и неагрессивного удаления нагара с внутренних частей двигателя, патрубков и фильтров. Эта технология подается вместе с воздухом и способна улучшить производительность двигателя за счет удаления нагара и повышения эффективности сгорания топлива. В современном мире всё больше внимания уделяется проблемам загрязнения окружающей среды, особенно в отношении выбросов сажи, углекислого газа и других вредных веществ. В этом контексте использование водорода в автомобильной промышленности является одним из эффективных способов уменьшения вредного воздействия на окружающую среду. Помимо этого, водород позволяет также увеличить экономию топлива на 20-40%, что является несомненным преимуществом, и после очистки снижению выбросов загрязняющих веществ, таких как углекислый газ, оксиды азота, сажа и т. д., в то время как природный газ или бензин образуют большое количество этих вредных веществ. Таким образом, использование водорода в качестве очистителя имеет огромный потенциал для уменьшения вредного влияния на окружающую среду.

Кроме того, стоит учитывать, что очистку можно проводить не только у двигателей внутреннего сгорания автомобилей, но также у двигателей морских и речных судов, а также генераторов большой мощности. В этом случае, помимо экономии топлива, можно добиться значительного снижения выброса вредных веществ. Таким

образом, очистка двигателя может принести немалую выгоду как для экономики, так и для окружающей среды.

По мимо плюсов данной способа очистки также есть и минусы очистки. Не у всех машин есть воздухозаборники. Поэтому порой возникают проблемы с подключением очистительной установки. Некоторые водители снимают «кочергу» — патрубок системы подачи воздуха в фильтр, чтобы улучшить динамику разгона. В таком случае модуль подключить не удастся.

Водородная очистка не дает стопроцентную гарантию на ликвидацию отложений. Особенно для старых автомобилей с пробегом 500-600 тысяч километров. За годы работы на стенках камеры сгорания образуется твердый налет, который нельзя растворить за один раз. При повторении процедуры 2-3 раза ситуация улучшается.

Порой возникают проблемы с безопасностью. Газ Брауна - взрывоопасная смесь. С ней требуется взаимодействовать аккуратно. Поэтому в автосервисе с установкой очистки должны работать опытные операторы. Тогда риск возникновения хлопка или повреждения металла исключен.

Генерация водорода имеет огромное значение в современной промышленности. Этот газ является неотъемлемой частью производства технических газов в различных отраслях промышленности. Без использования водорода немыслима работа многих заводов и предприятий.

Кроме того, водород занимает одно из ведущих мест среди всех промышленных газов, уступая лишь кислороду и азоту. Его востребованность обусловлена не только применением в энергетике, но и его ролью в нефтехимической и химической промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов А.И. – «Использование водорода в транспорте и энергетике".
2. Петров В.С. - "Водородная энергетика как перспективное направление развития".
3. Иванов П.П. - "Применение водорода в транспорте и малой энергетике".
4. Григорьева О.Н. - "Экологический аспект водородной энергетики".
5. Кузнецов Д.И. - "Технологии производства и применения водорода в энергетике".
6. Сайт: https://dzen.ru/a/Zdh8gksW7Ev3P-U-
7. Сайт: https://dzen.ru/a/YO2Sf5PoCUyVpHbo
8. Сайт: https://www.drive2.ru/b/589837411840701479/?ysclid=lt00jxlpal864827505
9. Сайт: https://kriogen.ru/stati/primenenie-vodoroda-v-promyshlennosti/
10. Сайт: https://www.drom.ru/info/misc/78797.html?ysclid=lt00kowrnq916641235
11. Сайт: https://airtechnik.ru/blog/sfery-primenenija-vodoroda/?ysclid=lt00l5bjzb568440428
12. Сайт: https://old.bigenc.ru/chemistry/text/1922269?ysclid=lt00lfwnnf5191339
13. Сайт: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/30843/1/978-5-7996-1316-7.pdf?ysclid=lt00ltqywc555686234

УДК 658.5

Вершинин[1] Е.А., Буланова[2] Т.Г., Зуев[3] В.Д., Баннов[4] В.Я.
[1,2,3,4] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1] kipra@pnzgu.ru

СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОЛОЧНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЗИСТОРОВ

Аннотация. Эта статья исследует различные способы улучшения тепловых характеристик проволочных переменных резисторов. Проволочные переменные резисторы являются важными элементами во многих электронных устройствах и системах управления. Они позволяют точно регулировать сопротивление в цепях и обеспечивают стабильность работы устройств. Однако, как и любые другие компоненты, проволочные переменные резисторы имеют свои ограничения, включая тепловые проблемы, которые могут влиять на их производительность и долговечность. В статье рассматриваются различные методы и техники, которые можно применить для улучшения тепловых характеристик проволочных переменных резисторов. Эти методы включают в себя улучшение материалов, конструкцию и охлаждение резисторов. Мы также рассмотрим вопросы, связанные с выбором правильного типа резистора в зависимости от конкретных потребностей и условий эксплуатации.

Ключевые слова: переменный резистор, надежность, проволока, радиоэлектронная аппаратура, качество, тепло, сопротивление

Vershinin[1] E.A., Bulanova[2] T.G., Zuev[3] V.D., Bannov[4] V.Ya.
[1,2,3,4] Penza State University, Penza, Russia
[1] kipra@pnzgu.ru

WAYS TO IMPROVE THE THERMAL CHARACTERISTICS OF WIRE VARIABLE RESISTORS

Annotation. This article investigates various ways of improvement of thermal characteristics of wire variable resistors. Wire variable resistors are important elements in many electronic devices and control systems. They allow to regulate precisely resistance in chains and provide stability of operation of devices. However, as well as any other components, wire variable resistors have the restrictions, including thermal problems which can influence their productivity and durability. In article various methods and technicians which can be applied to improvement of thermal characteristics of wire variable resistors are considered. These methods include improvement of materials, a design and cooling of resistors. We will also consider the questions connected with the choice of the correct type of the resistor depending on specific needs and service conditions.

Keywords: variable resistor, reliability, wire, radio electronic equipment, quality, heat, resistance

Введение

Переменные проволочные резисторы играют ключевую роль в любой электронике, которая имеет возможность регулирования сопротивления в различных электрических цепях, широкое применение в различных устройствах, от простых потенциометров до сложных электронных систем управления. Важно понимать, что тепловые характеристики данных проволочных переменных резисторов имеют прямое влияние на их производительность, надежность и стойкость.

В современное время при значительных нагрузках проволочные резисторы могут перегреваться. Перегрев в данном контексте служит снижению эффективности работы электрорадиоизделия (ЭРИ), сокращению срока службы резистора и выход его из строя. Поэтому разработка и применение методов для улучшения тепловых характеристик является важным аспектом в области электроники.

В данной статье будут рассмотрены различные тепловые характеристики переменных проволочных резисторов и методы их улучшения; анализ факторов, влияющих на тепловые свойства резисторов, пути оптимизации теплоотвода в переменных проволочных резисторах.

Улучшение тепловых характеристик проволочных переменных резисторов — это важная и наиболее актуальная задача для обеспечения надежной и стойкой работы электронных устройств и систем. Выбор материалов, оптимизация конструкции и эффективное охлаждение могут помочь снизить температуру резистора и улучшить его производительность. При правильном подходе можно обеспечить стабильность и долговечность работы проволочных переменных резисторов в самых требовательных условиях эксплуатации.

При проектировании переменных проволочных резисторов необходимо учитывать множество факторов, которые оказывают влияние на их тепловые свойства. Рассмотрим основные из них:

1. Материал проволоки. Выбор материала проволоки существенно влияет на теплопроводность и сопротивление резистора. Медь и другие сплавы используются в зависимости от требований к работе резистора, т.к. обладает высокой теплопроводностью, что способствует более эффективному отводу тепла.

2. Конструкция резистора. Геометрия и конструкция резистора определяют его способность к рассеиванию тепла. Увеличение площади поверхности или добавление дополнительных ребер могут помочь улучшить тепловые характеристики.

3. Мощность и нагрузка. Уровень мощности, потребляемый резистором, прямо пропорционально влияет на его перегрев. При работе с высокомощными резисторамии необходимо предусмотреть эффективные методы охлаждения, чтобы избежать перегрева.

4. Условия окружающей среды. Температура окружающей среды, влажность и наличие вентиляции также играют важную роль.

Далее ниже представлены основные аспекты оптимизации конструкции:

1. Увеличение площади поверхности. Увеличение площади поверхности резистора позволяет увеличить область теплоотдачи, что способствует одному из эффективных охлаждений. Это достигается за счет увеличения длины проволоки или создания специальных дополнительных ребер на поверхности резистора.

2. Использование специальных материалов. Выбор материалов для корпуса резистора также имеет значение. Материалы с высокой теплопроводностью, такие как алюминий или медь, могут обеспечить более эффективное распределение и отвод тепла.

3. Улучшение вентиляции. Обеспечение естественной конвекйии внутри корпуса резистора помогает ускорить процесс охлаждения. Это достигается путем создания дополнительных специальных отверстий в корпусе радиоаппаратуры (РЭА) или каналов в конструкции резистора.

4. Минимизация тепловых потерь. Минимизация тепловых потерь в резисторе помогает снизить его нагревание. Это может быть достигнуто путем использования проволоки с меньшим сопротивлением или оптимизацией схемы подключения.

5. Распределение тепла. Равномерное распределение тепла по всей поверхности резистора помогает избежать перегрева в отдельных точках. Для этого можно использовать специальные теплораспределительные элементы в конструкции.

Использование подходящих теплопроводных материалов является главной задачей при улучшении тепловых характеристик переменных проволочных резисторов. Выбор оптимальных теплопроводных материалов зависит от конкретных требований к резистору, таких как мощность, температурный диапазон работы и условия эксплуатации. Правильное применение теплопроводных материалов позволяет значительно улучшить тепловые характеристики резисторов и обеспечить их стабильную и надежную работу. Существуют эффективные теплопроводные материалы для обеспечения тепловых характеристик:

1. Медь является одним из наиболее эффективных теплопроводных материалов. Она характеризуется высокой теплопроводностью, что способствует эффективному отводу тепла от проволочных обмоток резистора. Использование меди в качестве материала для проволоки позволяет снизить нагревание резистора и повысить его надежность.

2. Алюминий также обладает хорошей теплопроводностью и широко используется в конструкциях резисторов. Он легкий, прочный и обладает высокой теплопроводностью, что делает его отличным выбором для корпусов и радиаторов резисторов.

3. Термопасты и термопленки. используются для улучшения контакта между поверхностью резистора и радиатором или корпусом. Они помогают уменьшить тепловые сопротивления и улучшить теплоотвод от резистора к окружающей среде.

4. Графит является хорошим теплопроводником и может быть использован в качестве материала для создания радиаторов или тепловых покрытий. Он также обладает низким коэффициентом теплового расширения, что делает его стабильным при изменениях температуры.

Эффективное тепловое управление позволяет поддерживать оптимальные тепловые условия работы переменных проволочных резисторов, что в свою очередь обеспечивает стабильную и надежную работу электронных устройств. Важно выбирать подходящие методы теплового управления в зависимости от конкретных требований и условий эксплуатации резистора. Ниже рассмотрим основные методы теплового управления:

Тепловые датчики датчиков позволяет постоянно контролировать температуру резистора. Они могут быть встроены в резистор или размещены вблизи него для надежного контроля температуры.

Для эффективного охлаждения резистора могут применяться различные системы охлаждения, такие как вентиляторы, радиаторы, тепловые и вихревые трубки, теплоотводные пластины и т. д. Это поможет активно удалять излишнее тепло и поддерживать оптимальную температуру.

3. Равномерное распределение тепла по всей поверхности резистора способствует снижению перегрева в отдельных областях. Для этого могут применяться специальные теплораспределительные элементы или дизайн резистора.

4. При необходимости можно регулировать мощность, чтобы предотвратить перегрев резистора. Достигается это все путем изменения напряжения или тока, подаваемого на резистор, с использованием электронных управляющих устройств.

5. Применение специальных теплоотводных покрытий или материалов помогает улучшить отвод тепла от резистора к окружающей среде, что способствует снижению его нагревания.

Заключение

В заключение, улучшение тепловых характеристик переменных проволочных резисторов играет решающую роль в обеспечении надежной и эффективной работы электронных устройств. В ходе нашего обзора мы рассмотрели различные аспекты, связанные с управлением теплом в резисторах, а также методы и решения, направленные на повышение их теплоотвода и снижение риска перегрева.

Использование оптимальных материалов, конструктивных решений и систем управления теплом позволяет эффективно справляться с проблемой перегрева и обеспечивать стабильную работу переменных проволочных резисторов в самых различных условиях эксплуатации.

Однако следует помнить, что выбор методов улучшения тепловых характеристик должен быть обоснованным и основан на конкретных требованиях проекта, условиях эксплуатации и характеристиках резистора. Кроме того, необходимо учитывать экономические и технологические ограничения при выборе оптимальных решений.

Надежное тепловое управление не только повышает производительность и надежность электронных устройств, но и способствует увеличению их срока службы и снижению риска возникновения неисправностей. Внедрение современных методов и технологий в области теплоуправления открывает новые возможности для разработчиков и инженеров в создании более эффективных и надежных электронных устройств.

Таким образом, продолжение исследований и разработок в области улучшения тепловых характеристик переменных проволочных резисторов играет важную роль в развитии современной электроники и обеспечении ее прогрессивного развития в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Четвертков И.И., Коросько Н.М., Потенциометры, Москва «Советское радио», 1978.
2. Белевцев А.Т., Потенциометры. М., «Машиностроение», 1969.
3. Стальбовский В.В., Четвертков И.И., Резисторы. М., «Сов. радио», 1974.
4. Мартюшов К.И., Зайцев Ю.В., Технология производства резисторов. М., «Высшая школа», 1972.
5. Юрков Н.К. Применение графена в микро-и нано-электронике/Меркульев А.Ю., Трусов В.А., Кочегаров И.И., Юрков Н.К.//Современные информационные технологии. 2013. № 18. Пенза: ПГТА, 2013 с. 162-165. EDN: RWGLPN
6. Юрков, Н.К. Машинный интеллект и обучение человека: монография/Н.К. Юрков. -Пенза: ИИЦ ПензГУ, 2008г. -226с. EDN: QWQKSR
7. Недорезов, В. Г. Резисторы как элементы пассивной электроники / В. Г. Недорезов // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2014. – Т. 1. – С. 35-45. – EDN SPDHM
8. G. Shorthouse and S. Lande, “The global market for high temperatureelectronics,” in Proc. 3rd Int. High Temp. Electron. Conf., Albuquerque,NM, June 1996, pp. I-3–8.
9. H. W. Imhofand B. E. Bertsch, “Thick film materials for hi-temperatureoperation,” in Proc. High Temp. Electron. Instrum. Conf., Dec. 1981, p.83.
10. B. L. Draper and D. W. Palmer, “Extension of high temperature elec-tronics,” in Proc. 29th Electron. Comp. Conf., May 1979, pp. 40–46.
11. W. Dillard, J. Naefe, M. Palmer, and R. W. Johnson, “A test fixture forhigh-temperature, low noise testing of electronic components,” in Proc.3rd Int. High Temp. Electron. Conf., Albuquerque, NM, June 1996, pp.XIV-9–14.
12. J. Smith, "Improving Thermal Characteristics of Variable Wire Resistors." Journal of Electronic Engineering, vol. 45, no. 2, 2020, pp. 112-125.
13. E. Johnson, "Optimization Techniques for Wirewound Resistor Thermal Management." International Conference on Electrical Engineering Proceedings, vol. 18, 2019, pp. 245-257.
14. M. Anderson, "Heat Dissipation Strategies for Wirewound Resistors in High-Power Applications." IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, vol. 27, no. 4, 2018, pp. 532-541.
15. W. Chen, "Thermal Management in Power Electronics: Techniques and Materials." Springer, 2017.
16. Brown, David. "Advances in Heat Transfer Materials and Technologies." CRC Press, 2016.

УДК 62-1/-9

Каржин[1] Д.И., Шафеев[2] К.А.

[1,2] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Аннотация. Рассмотрены виды адсорбентов, получивших практическое применение в системах осушки компримированного природного газа. Проведён обзор методов загрузки адсорбента в адсорбер. Рассмотрено применение гигрометров в системах осушки компримированного природного газа. Проанализировано влияние параметров подачи газа в адсорберы на работу устройства.

Ключевые слова: адсорбент, гигрометр, осушка метана, регенерация адсорбента

Karzhin[1] D.I., Shafeev[2] K.A.

[1,2] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

OPTIMIZATION OF THE OPERATION OF THE NATURAL GAS DRYING SYSTEM

Annotation. The types of adsorbents that have received practical application in compressed natural gas drying systems are considered. A review of methods for loading adsorbent into an adsorber was carried out. The use of hygrometers in compressed natural gas drying systems is considered. The influence of gas supply parameters to adsorbers on the operation of the device is analyzed.

Keywords: adsorbent, hygrometer, methane dehydration, adsorbent regeneration

Введение

В настоящее время природный газ активно используется в качестве автомобильного топлива. Это связано с тем, что природный газ, применяемый в качестве топлива, имеет более низкую стоимость и более экологичен, чем нефтепродукты.

Сжиженный метан хранится в транспорте под давлением не более 20 Мпа. При этом, в соответствии с ГОСТ 27577-2000 «Газ природный топливный компримированный для двигателей внутреннего сгорания», концентрация водяных паров в газе не должна превышать 9 $мг/м^3$, так как влага, которая содержится в газе, способна привести к коррозии топливной системы автомобиля.

Для того, чтобы газ соответствовал приведённым выше требованиям, он подвергается обработке в системе осушки природного газа. Метан сжижают до давления 20-25 МПа, затем газ поступает в адсорбер, где он проходит через адсорбент, удерживающий пары воды. В определённый момент времени адсорбент насыщается влагой и перестаёт в достаточной степени осушать газ. Для восстановления осушающих свойств адсорбента, адсорбер переводят в режим регенерации, при этом адсорбент подвергается температурному воздействию и продуванию (или иным методам). После того, как адсорбент восстановился в достаточной мере, адсорбер вновь переводят в режим осушки. Как правило, в системе осушки установлены два адсорбера, пока один адсорбер работает в режиме осушки, другой находится в режиме регенерации. При этом, время осушки должно равняться времени регенерации.

На практике, многие системы осушки могут эксплуатироваться не оптимально. Ошибки в эксплуатации систем осушки, как правило, приводят к порче оборудования, неэффективному использованию адсорбента и высокому энергопотреблению. В системах осушки компримированного природного газа (КПГ), нередко используются адсорбенты, обладающие высокой стоимостью и приводящие к высокому потреблению энергии.

В данной статье приведены методы оптимизации работы системы осушки природного газа, а также рассмотрены адсорбенты, применяемые в системах осушки КПГ.

Адсорбенты, применяемые для осушки сжиженного газа

Адсорбенты, применяемые для осушки компримированного природного газа, различаются между собой по температурным параметрам, цене и другим характеристикам. В системах осушки КПГ, как правило, используют твёрдые осушители в связи с требованиями, предъявляемыми к природному газу.

Наибольшее применение в системах осушки КПГ получили следующие адсорбенты:

– силикагель, представляет собой высушенный минеральный гель на основе кремниевых кислот, кремнезема, он используется для обезвоживания газов и жидкостей. Также его можно использовать для извлечения тяжёлых углеводородов из природного газа. В случае присутствия в составе осушаемого газа ненасыщенных углеводородов и масел, которые снижают адсорбционную способность силикагеля, то не рекомендуется применять для осушения данный адсорбент;

– оксид алюминия, аморфное вещество с пористой и высокодисперсной аккумуляцией. Данный адсорбент впитывает тяжёлые углеводороды и вступает в реакцию с минеральной кислотой кислотой, что делает его непригодным для последующей

регенерации. По сравнению с молекулярными ситами, глинозему требуется меньше тепла для регенерации, поскольку температура его регенерации намного ниже;

- молекулярные сита или алюмосиликаты, обладающие высочайшей селективностью и влагоемкостью и, следовательно, позволяющие получить самые низкие значения точки росы воды. Данный адсорбент можно использовать для извлечения углеводородов из природного газа. Регенерация молекулярных сит приводит к большому расходу энергии. На практике, расход энергии при использовании молекулярных сит практически в два раза выше, чем при использовании оксида алюминия [1].

В качестве адсорбента, применяемого в системах осушки КПГ, целесообразно использовать оксид алюминия, так как его стоимость значительно ниже, чем у других адсорбентов, подходящих для применения в системе осушки КПГ.

Перед началом работы целесообразно провести активацию адсорбента.

Для необходимого исключения воздуха из загруженных слоёв адсорбента применяется азотная продувка, производимая путём повторов поднятия и снижения азотного давления. При этом, для предотвращения подъёмна носителя, струя газового потока должна быть направлена строго сверху вниз, Окончанием продувки следует считать тот факт, что содержание кислорода в смеси на выходе составляет менее 0,5% объема смеси. Активация адсорбента производится путём его регенерации.

Эффективность работы систем осушки КПГ находится под существенным влиянием выбранного метода загрузки адсорбера в адсорбер. В данной статье рассмотрены способы загрузки адсорбента, которые позволят увеличить эффективность осушки и увеличить срок службы адсорбента.

Оптимитизация процесса загрузки адсорбента

Для стабильной работы сорбционного слоя важную роль играет, каким способом будет произведена загрузка адсорбентов в адсорбер. В системах осушки КПГ, как правило, применяются следующие способы загрузки адсорбента [2]:

- плотный способ загрузки, позволяющий, для достижения равномерного перепада давления в слое адсорбента и улучшения распределения потоков внутри адсорбера, с помощью произведения загрузки с использованием специального загрузочного устройства, создать равномерный по плотности слой адсорбента в адсорбере;

- загрузка навалом, производящаяся через загрузочный люк аппарата, при этом способе загрузки слой адсорбента обязательно равномерно распределяется и разравнивается, что также позволяет использовать в несколько слоёв гранул разного размера в одном аппарате;

- способ рукавной загрузки, когда адсорбенты в аппарате распределяются путём встряхивания и подтягивания рукава, который достаточно длинный, чтобы достать до дна аппарата, также при загрузке всегда заполнен наполовину своей длины адсорбентом и крепится к нижней части бункера. Как и в способе загрузки навалом, здесь следует равномерно распределять и разравнивать слой адсорбента в адсорбере.

Способ загрузки навалом, хоть и является самым применяемым способом загрузки на большинстве предприятий, в то же время данный способ обладает существенным недостатком по сравнению с альтернативными способами загрузки. При загрузке навалом скорость потока достигает наивысшего значения у стенок адсорбера и превышает 0,3 м/с, что приводит к разрушению гранул адсорбента, так как на износ адсорбентов влияет линейная скорость газового потока, которая не должна превышать 0,3 м/с.

Более рациональными к применению будут рукавный и плотный методы загрузки адсорбента, так как оптимальная загрузка адсорбера, получаемая данными методами, позволяет равномерно распределить скорость потока по всему сечению аппарата, что в своём случае приведет к равномерному износу всего сорбционного слоя вследствие правильной загрузки, поскольку позволит избежать образования «канальцев» в адсорбционном слое адсорбента, которые приводят к разрушению и снижению срока службы сорбционной системы.

При эксплуатации систем осушки КПГ длительность процессов осушки и регенерации могут определять на основе промежутков времени, за которые адсорбент предположительно должен быть в достаточной степени насыщен влагой и восстановлен соответственно. Однако, из-за сбоев в работе системы осушки, ошибок при расчёте времени цикла и влияния прочих факторов, время, установленное для циклов работы, зачастую определяется неверно [3]. Кроме того, чрезмерная регенерация адсорбента может негативно отразится на его состоянии, а также привести к высоким затратам по энергии. Поэтому, в системах осушки КПГ целесообразно применять гигрометры для измерения влажности осушенного газа и определения длительности циклов осушки и регенерации.

Применение гигрометров

В системах осушки компримированного природного газа необходимо использовать гигрометры, которые имеют высокую скорость измерения, низкую погрешность, устойчивость к примесям, находящимся в природном газе, и высокую надёжность.

Примеры гигрометров, получивших практическое применение в системах осушки КПГ приведены на рисунке 1.



а) б) в)

Рисунок 1 – Примеры влагомеров: «ИВГ-1 /4-С-YP-ZA» (а), «FAS-W» (б) и «ИПТВ-056» (в)

Гигрометр «ИВГ-1 /4-С-YP-ZA» предназначен для измерения влажности газа под высоким давлением (более 19,6 МПа), его стоимость на 2024 составляет 32400 рублей. Данный гигрометр отечественный.

Влагомер «FAS-W» производится за рубежом, он предназначен для измерения влажности газа под высоким давлением, его стоимость на 2024 составляет около 200 тыс. рублей.

Стоимость гигрометра «ИПТВ-056» на 2024 составляет 18900 рублей. Это отечественный гигрометр, предназначенным для измерения влажности газа с низким давлением.

В связи с тем, что зарубежные гигрометры имеют высокую стоимость, высокую длительность доставки и проблемы, связанные с ремонтом и обслуживанием, в системах осушки КПГ рекомендуется применять отечественные влагомеры.

В некоторых ситуациях целесообразно использовать гигрометры, предназначенные для измерения влажности газа с низким давлением. Как правило, такие гигрометры обладают более простой конструкцией, которая обеспечивает высокую надёжность, стоимость данных влагомеров значительно ниже, чем у гигрометров, предназначенных для измерения влажности газа с высоким давлением. Давление газа, поступающего после адсорбера, более 19,6 МПа. Для того, чтобы снизить давление газа, поступающего на гигрометр, целесообразно использовать последовательно соединённые редуктора или ресивер. Это также приведёт к увеличению массогабаритных показателей системы осушки КПГ.

В некоторых ситуациях изменение массогабаритных показателей системы осушки КПГ не целесообразно. В данном случае необходимо применять гигрометр, предназначенный для измерения влажности газа с высоким давлением.

Использование гигрометра в системе осушки КПГ позволит определить наиболее оптимальные параметры работы устройства.

Оптимитизация подачи газа в адсорберы

При применении таких адсорбентов, как силикагель, оксид алюминия и молекулярные сита, динамика насыщения адсорбента влагой будет иметь вид, приведённый на рисунке 2.

В зоне равновесия адсорбент насыщается влагой и перестаёт осушать газ. С течением времени основная масса жидкости переходит в зону массообмена и активную зону соответственно.

При увеличении скорости подачи газа в адсорбер процент осушения газа снижается. Это связано со снижением времени пребывания газа в адсорбере, по мере

увеличения скорости потока. На рисунке 3 приведён график изменения процента осушения газа, в зависимости от скорости потока [4].

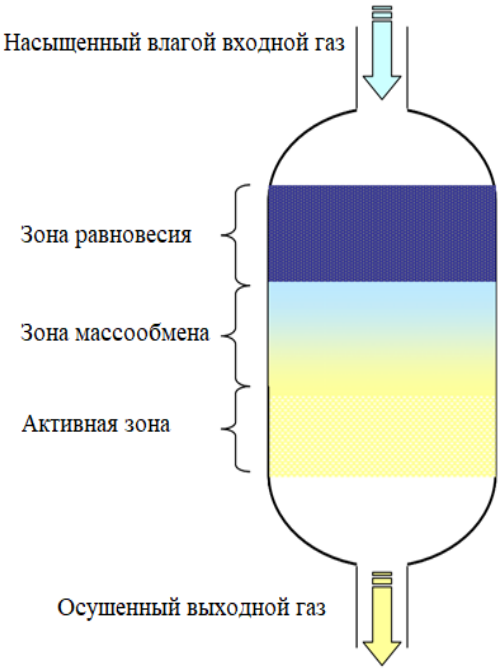


Рисунок 2 – Зоны адсорбции

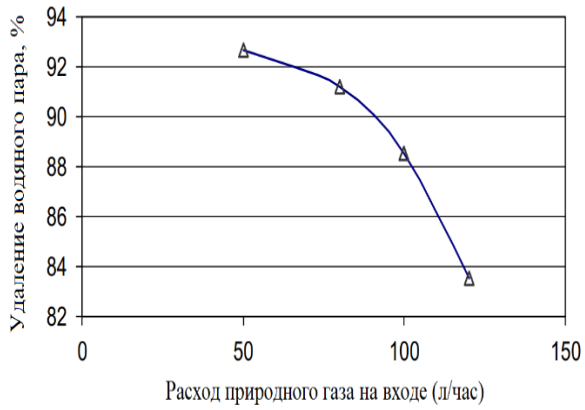


Рисунок 3 – Влияние расхода газа на максимальный процент удаление водяного пара (концентрация водяного пара на входе 340 мг/л)

В ходе данного исследования в качестве адсорбента были использованы молекулярные сита. Длина и диаметр адсорбера составляют 1070 и 125 мм соответственно.

Скорость подачи газа должна быть настроена таким образом, чтобы концентрация водяных паров осушенного газа не превышала 9 **мг/м^3**. Режим работы системы осушки КПГ должен быть настроен таким образом, что время регенерации адсорбента не должно превышать время осушки газа. Степень регенерации адсорбента будет увеличиваться по мере увеличения температуры регенерации. При этом, необходимо учитывать максимально допустимую температуру для применяемого адсорбента и влияние температуры на устройство. Сильный нагрев адсорберов, в некоторых ситуациях, способен негативно отразится на определённых частях системы осушки КПГ.

Вывод: для того, чтобы оптимизировать работу системы осушки КПГ рекомендуется использовать гигрометры, чтобы определить уровень влаги в осушенном газе. В некоторых ситуациях целесообразно использовать гигрометры, предназначенные для измерения влажности газа с низким давлением, размещая их после ресивера или последовательно соединённых редукторов, так как это позволит существенно снизить затраты, вызванные покупкой гигрометра. Необходимо провести исследование режима работы осушки КПГ и определить параметры подачи газа в адсорберы. Целесообразно использовать оксид алюминия в качестве адсорбента, так как его стоимость значительно ниже, чем у других адсорбентов, подходящих для применения в системе осушки КПГ. Режим работы системы осушки КПГ необходимо настроить таким образом, что время регенерации адсорбента не должно превышать время осушки газа. При этом необходимо учитывать влияние температуры регенерации на адсорбент и систему осушки КПГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ebrahiem E. Ebrahiem, Ibrahim A. Ashour. A comparison of natural gas dehydration methods // Yanbu Journal of Engineering and Science. – 2021. – №15 (часть 1). – с. 6-7.

2. Хафизов И.М., Гафаров Р.З., Жирнов Б.С., Степанов Д.А., Хафизов А.М. Оптимизация процесса загрузки и регенерации адсорбента // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 10 (часть 1). – С. 56-61

3. Daminov T., Shokhsuvorovich S., Abdurakhmanova S. Technologies used in natural gas dehydration: problems and solutions // E3S Web of Conferences – 2024. – №497, 01023.

4. Hassan A.A. Farag, Mustafa Mohamed Ezzat, Hoda Amer, Adel William Nashed. Natural gas dehydration by desiccant materials // Alexandria Engineering Journal. – 2011. – Т. 50, с. 431-439.

УДК 621.382

Головяшкин[1] А.Н., Малышев[2] С.А.

[1,2] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] angpenza@yandex.ru

[2] hasep4ik@outlook.com

РАСЧЁТ ТОПОЛОГИИ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ИНДУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Рассмотрена зависимость индуктивности, добротности и собственной резонансной частоты тонкоплёночной катушки индуктивности от конструктивных параметров. Предложена методика инженерного расчета топологии тонкоплёночных индуктивностей с помощью номограмм.

Ключевые слова: тонкие плёнки, тонкоплёночные индуктивные элементы, индуктивность, добротность, резонансная частота

Golovyashkin[1] A.N., Malyshev[2] S.A.

[1,2] Penza State University, Penza, Russia

[1] angpenza@yandex.ru

[2] hasep4ik@outlook.com

CALCULATION OF THE TOPOLOGY OF THIN-FILM INDUCTIVE ELEMENTS

Annotation. The dependence of inductance, Q-factor and intrinsic resonant frequency of a thin-film inductance coil on structural parameters is considered. A technique for engineering calculation of the topology of thin-film inductivity using nomograms is proposed.

Keywords: thin films, thin-film inductive elements, inductance, Q-factor, resonant frequency

Введение

По тонкоплёночной технологии индуктивность реализуется в виде так называемой круглой или квадратной спирали, которая вначале формируется вакуумными методами напыления на диэлектрической подложке, а затем, для увеличения добротности спирали, её витки наращивают электрохимическим способом до толщины 10-30 мкм [1-2]. Поэтому термин «тонкоплёночная индуктивность» следует считать условным. Кроме того, расчёт этих элементов сопряжён с большими погрешностями. По этим причинам в тонкоплёночных интегральных микросхемах (ИМС) и микросборках (МСБ) они практически не используются. Однако в настоящее время возникла необходимость возобновить активное применение тонкоплёночных микросхем и микросборок в специальных радиотехнических системах и изделиях электронной техники из-за их высокой помехозащищённости, а исключение индуктивностей из схемотехнических решений усложняет устройства и, в ряде случаев, ограничивает функциональные возможности. Поэтому возникла необходимость восстановить утраченную компетенцию по проектированию и применению тонкоплёночных индуктивных элементов.

Конструкция индуктивности определяется следующими параметрами: внешний и внутренний размеры (диаметр или сторона квадрата) спирали D и d, соответственно; расстояние между витками p; ширина b и толщина токопровода h. Для расчета топологии индуктивности необходимо определить однозначное соответствие между ее электрическими характеристиками (индуктивность L, добротность Q, собственная резонансная частота f_0) и конструктивными параметрами. При применении обычных способов расчёта полученные результаты плохо согласуются с экспериментом, особенно в отношении добротности. Поэтому при конструировании ИМС и МСБ необходимо применять специальные методы для подстройки индуктивности и задавать большие запасы добротности. Но в этом случае увеличиваются габариты и вес устройства. Ниже приводится и обосновывается методика инженерного расчета топологии тонкопленочной индуктивности, позволяющая избежать эти недостатки.

Методика расчета.

Зависимость индуктивности от ее конструктивных параметров определяли на физической модели тонкопленочной микросхемы, геометрические размеры спирали которой увеличены в 20 раз. Основные принципы построения физической модели изложены в [3]. Результаты моделирования зависимости индуктивности, собственной резонансной частоты и параметра η от конструктивных параметров, представленные в виде номограмм, приведены на рис. 1, 2 для круглой и квадратной спирали [4].

Данные номограммы построены для получения максимально возможной удельной индуктивности. Для этого расстояние между витками и внутренний диаметр элемента должны быть минимально возможными: p = 100 мкм и d = 500 мкм.

Для определения добротности тонкопленочной спирали введем параметр

$$\eta = \frac{L}{n} \qquad (1)$$

где L – индуктивность спирали, Гн; n – число квадратов токопровода спирали.

Величина добротности в этом случае определяется по формуле

$$Q = \frac{\eta\omega}{\rho_0(\omega)}, \qquad (2)$$

где ω - угловая рабочая частота, сек$^{-1}$; ρ_0 (ω) - удельное сопротивление токопровода, Ом/□.

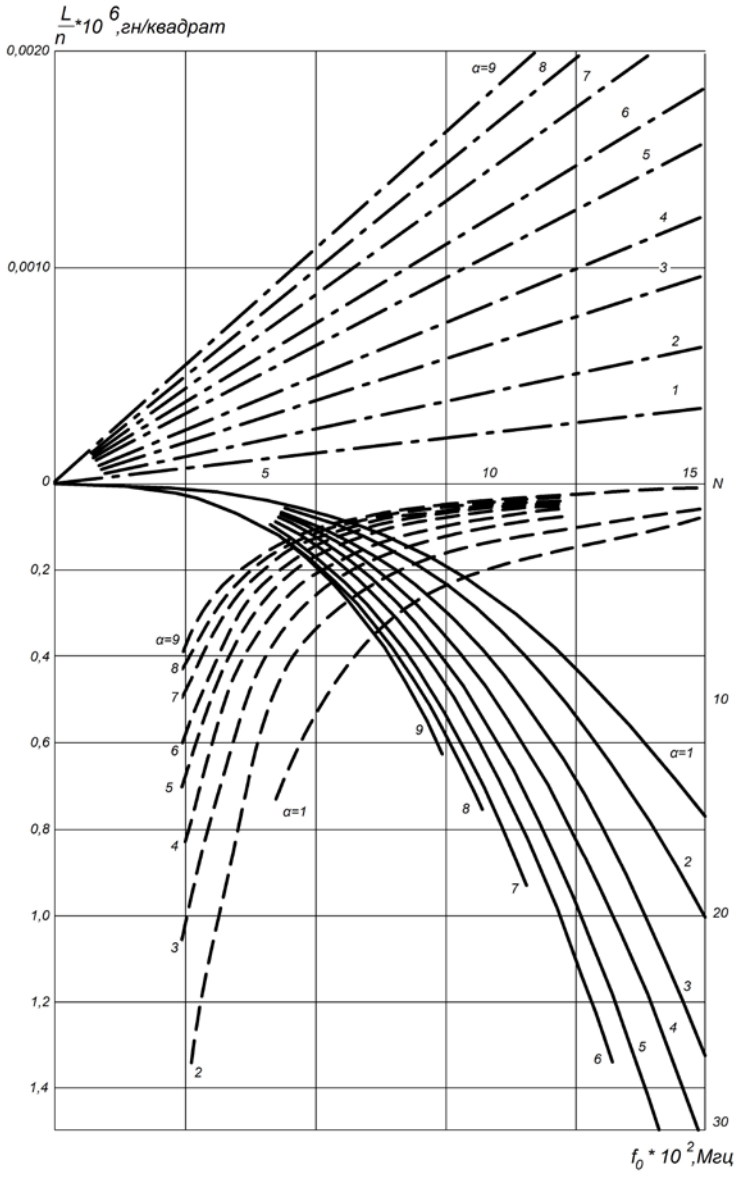


Рисунок 1 _ Зависимость индуктивности (сплошные линии), собственной резонансной частоты (пунктирные) и параметра η=*L/n* (штрих-пунктирные) круглой спирали от числа витков *N* при различных значениях α

Индуктивность формируется на подложке из ситалла или высокочастотной керамики и работает на частотах до нескольких сотен мегагерц, поэтому при определении добротности (2) не учитывается частотная зависимость потерь в подложке. Коэффициент η в первом приближении можно считать не зависимым от частоты. Частотная зависимость ρ_0 (ω) обусловлена вытеснением тока на поверхность токопровода (скин-эффект) [1]. Поперечное сечение токопровода - прямоугольник со сторонами *b* и *h*. В случае уединенного проводника плотность тока неравномерно распределена по периметру этого прямоугольника. В проводнике, расположенном в непосредственной близости с проводниками, лежащими в одной плоскости, происходит выравнивание этой неравномерности за счет действия эффекта близости [1]. Это позволяет предположить, что плотность тока равномерно распределена по ширине токопровода *b*, и рассматривать расчетную модель токопровода спирали в виде широкой плоской ленты толщиной *h*. Возможность такого упрощения подтверждена экспериментально.

Известно, что глубину проникновения поля в проводник можно вычислить по формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho_{уд}}{\omega\mu}}, \qquad (3)$$

где δ - глубина проникновения, м; $\rho_{уд}$ - удельное сопротивление, Ом·м.

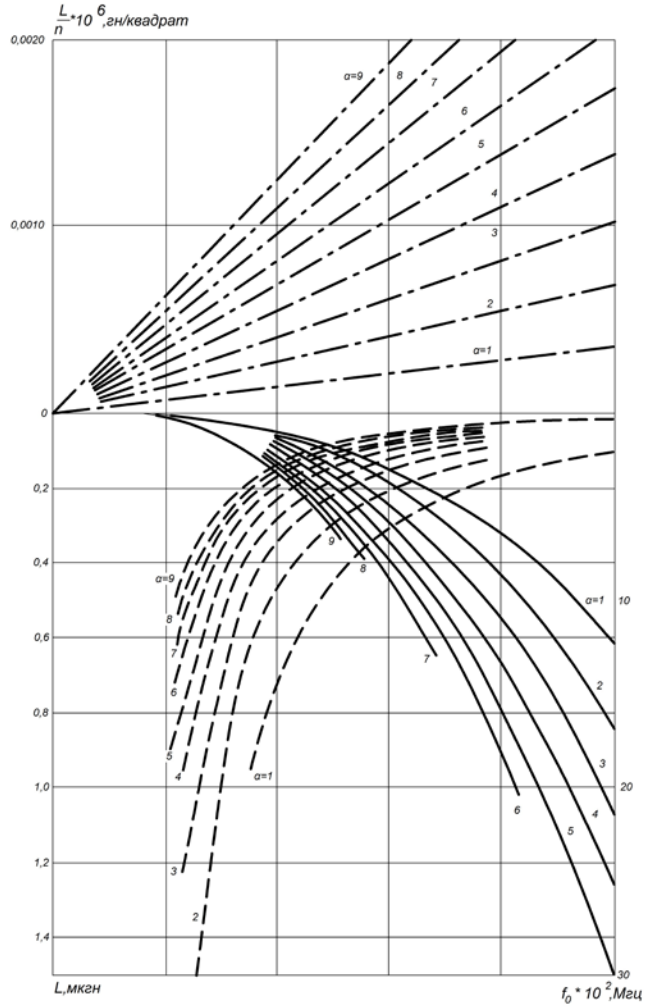


Рисунок 2 - Зависимость индуктивности (сплошные линии), собственной резонансной частоты (пунктирные) и параметра η=L/n (штрих-пунктирные) квадратной спирали от числа витков при различных значениях α

При этом плотность тока будет затухать по толщине токопровода по закону, близкому к экспоненциальному (начало координат на поверхности токопровода, ось x перпендикулярна ей),

$$j = j_0 e^{-\frac{x}{\delta}}, \qquad (4)$$

где j_0 — плотность тока на поверхности проводника.

Суммарный ток I, протекающий по токопроводу, будет равен:

$$I = 2\int_0^{\frac{h}{2}} j_0 e^{-\frac{x}{\delta}} dx = 2\delta j_0 (1 - e^{-\frac{h}{2\delta}}).$$

Отсюда искомое удельное сопротивление токопровода

$$\rho_0(\omega) = \frac{\rho_{уд}}{2\delta(1-e^{-\frac{h}{2\delta}})}. \qquad (5)$$

Если подставить значение $\rho_0(\omega)$ из (5) в формулу (2), величина добротности будет в 2-3 раза больше реальной. Это расхождение можно объяснить следующим образом. При выводе формулы (5) предполагалось, что материал токопровода аморфный, а его поверхность абсолютно гладкая. В действительности поверхность проводника шероховатая (величина шероховатости колеблется от 4 до 10 мкм), а структура кристаллическая (токопровод изготовляется методом электрохимического наращивания). Наличие шероховатости на поверхности токопровода можно интерпретировать увеличением длины токопровода.

В этом случае

$$\rho_0(\omega) = \frac{K(\omega)\rho_{уд}}{2\delta(1-e^{-\frac{h}{2\delta}})}. \qquad (6)$$

где $K(\omega)$ - частотно-зависимый коэффициент, учитывающий наличие шероховатостей на поверхности.

Коэффициент $K(\omega)$ определялся экспериментально, итоговая зависимость $\rho_0(\omega)$ с учетом для случая $\rho_{уд} = 2{,}4.10^{-8}$ Ом·м приведены на рис. 3 [3]. Если технология изготовления индуктивности обеспечивает токопровод с удельным сопротивлением

$\rho^*_{уд}$ отличающимся от приведённого значения, необходимо значения по оси абсцисс и ординат (рис. 4) умножить на коэффициент $m = \rho_{уд}/\rho^*_{уд}$ и $1/m$, соответственно.

Тонкопленочная катушка индуктивности соединяется с микросхемой проводниками, диаметр которых не более 0,2 мм; в противном случае может произойти отслоение токопровода от подложки. Общая длина подводящих проводников приблизительно равна 1 см. Зависимость сопротивления подводящих проводников от частоты для различных значений диаметров приведена в [4]. Расчеты показали, что с учетом этого сопротивления значение добротности уменьшается на 30% в зависимости от номинала индуктивности.

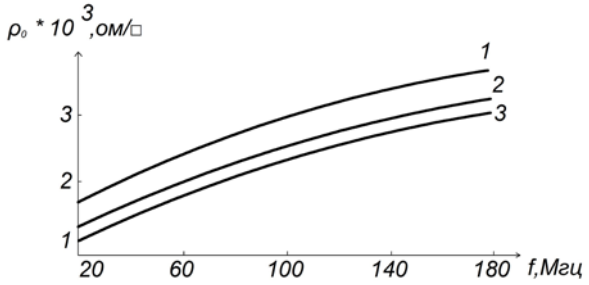


Рисунок 3 - Зависимость удельного поверхностного сопротивления токопровода от частоты и толщины. h=20; 30; 40 мкм (кривые 1-3)

Собственную резонансную частоту спиральной индуктивности достаточно точно можно определить, заменив спираль эквивалентной длинной линией, длина которой l должна равняться длине токопровода спирали. Резонанс возникает на частоте, на которой длина линии равна четверти длины электрической волны, а именно

$$f_0 = \frac{1}{4}\frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}\frac{1}{l}, \qquad (7)$$

где ε - диэлектрическая проницаемость подложки; f_0 - собственная резонансная частота спирали, Гц; $c = 3\cdot10^8$ м/с.

Порядок расчета по серии номограмм (см. рис. 1-2) зависит от требований, предъявляемых к топологии. Наиболее часто топологию индуктивности рассчитывают:

по заданной величине индуктивности и рабочей частоте с максимально возможной величиной добротности;

по заданному номиналу индуктивности и рабочей частоте на минимально возможной площади;

по заданным величинам индуктивности, добротности и рабочей частоты.

Расчет топологии индуктивности с максимально возможной добротностью. Известно, что для одного и того же номинала индуктивности длина токопровода круглой спирали меньше, чем квадратной, т. е. у круглой спирали меньше активное сопротивление и выше добротность. Поэтому при решении данной задачи лучше выбирать круглую форму спирали.

Максимальная добротность достигается при максимальном значении параметра $\alpha = b/p$, так как при больших α заданная величина индуктивности реализуется с меньшим числом витков, т. е. с меньшей длиной токопровода.

Как отмечалось выше, все номограммы, приведенные на рис. 1 и 2 построены для внутреннего диаметра спирали, равного минимально возможной ширине контактной площадки (d=500 мкм). Однако при увеличении d от нуля до некоторого значения добротность катушки возрастает на 15-20%. Имеется оптимальное отношение внутреннего и внешнего диаметров спирали, при которых добротность максимальна. Для круглой катушки

$$\left(\frac{d}{D}\right)_{опт} = 0{,}4, \qquad (9)$$

для квадратной спирали

$$\left(\frac{d}{D}\right)_{опт} = 0{,}362, \qquad (10)$$

Но при увеличении внутреннего диаметра (выборке внутренних витков) до величины, удовлетворяющей соотношениям (9-10), индуктивность спирали уменьшается на 14%. В данном случае топологию рассчитывают в следующей последовательности:

заданное значение индуктивности увеличивают на 14%;

по номограммам рис. 1 определяют число витков спирали, соответствующее полученному ранее значению индуктивности для максимального значения α;

определяют величину внешнего диаметра спирали по формуле

$D = 0{,}02\ (1+\alpha)\ N$ (см); (11)

из уравнения (9) определяют внутренний диаметр спирали d;

по полученным α и N (см. рис. 1) определяют значение параметра η;

по заданной рабочей частоте определяют (см. рис. 3) значение удельного поверхностного сопротивления;

по формуле (2) рассчитывается добротность спирали;

расчетное значение добротности на 15%;

по номограммам, приведенным на рис. 1, определяют собственную резонансную частоту индуктивности.

Часто в числе задаваемых параметров присутствует ограничение по занимаемой площади. В этом случае значение параметра α выбирается максимальным из условия удовлетворения ограничений по занимаемой площади.

Расчет топологии индуктивности на минимальной занимаемой площади. Минимально занимаемую площадь получают при квадратной форме спирали, минимальном α и внутреннем диаметре, равном нулю.

В связи с этим расчет производится в следующей последовательности:

по номограммам рис. 2 для заданного значения индуктивности и минимального α определяют число витков спирали и значение η;

по заданной рабочей частоте определяют (см. рис. 3) значение удельного сопротивления;

рассчитывают добротность индуктивности;

определяют частоту собственного резонанса спирали из рис. 2.

Расчет топологии индуктивности по заданным значениям добротности и индуктивности производится в следующей последовательности:

определяют значение удельного сопротивления из рис. 3;

заданное значение добротности уменьшают на 15%;

по формуле (2) рассчитывают значение параметра η по ρ_0 и Q;

полученное значение η откладывают по оси ординат рис. 1 и проводят горизонтальную линию;

увеличивают заданное значение индуктивности на 14% и откладывают его на оси ординат рис. 1; проводят горизонтальную линию;

передвигая линейку параллельно оси ординат, определяют число витков спирали. Пересечение линейки с проведенными линиями должно при этом находиться на кривых с одинаковым значением параметра α. Если такое пересечение отсутствует, значит заданная индуктивность не может быть реализована с заданной добротностью;

определяют значения внутреннего и внешнего диаметров;

из рис.1 находят частоту собственного резонанса индуктивности.

Заключение

Для упрощения составления и использования номограмм были зафиксированы некоторые конструктивные параметры спиралей, а именно: расстояния между витками p и внутренний диаметр d (выбраны исходя из технологических ограничений и соответственно равны 100 и 500 мкм). В действительности, проведя простые расчеты, можно распространить эту методику для произвольных значений p и d.

Можно показать, что изменение геометрических размеров спирали в K_l раз изменяет индуктивность системы в K_e раз. Поясним это на примере. Пусть p =50 мкм, d =250, т.е. K_e = 1/2. Для расчета индуктивности с указанными параметрами необходимо значения на осях L/n и L (рис. 1-2) уменьшить в 2 раза. В остальном порядок расчета полностью совпадает с порядком, приведенным выше.

При проведении расчетов можно с достаточной для инженерной практики точностью полагать d =500 мкм, поскольку при изменении d от нуля до $d_{опт}$, значение индуктивности изменяется на 14%.

Используя формулу (7), можно показать, что собственные резонансные частоты f_0 указанных выше индуктивностей будут подчиняться соотношению $f_{01} = \frac{1}{K_e} f_{02}$.

Это означает, что при изменении геометрических размеров согласно в K_e раз собственная резонансная частота индуктивности изменяется в 1/ K_e раз. В рассмотренном выше примере для правильного определения резонансной частоты необходимо значения по оси f_0 увеличить в 2 раза. Таким образом, можно достаточно просто рассчитывать спиральные индуктивности с произвольным расстоянием между витками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тонкоплёночная электроника: учебник / А. Н. Головяшкин. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2022. - 284 с.

2. Аверин И.А., Головяшкин А.Н. Физика и технология тонких пленок: учеб. пособие / Под ред. проф. Р.М. Печерской. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2009

4. Расчет топологии тонкоплёночных катушек индуктивности / Ермолаев А.А., Ядов В.И. // Электронная техника: сер. VI, «Микроэлектроника», 1969, вып. 5(20).

4. Способ моделирования пассивных ТП микросхем / Гросберг Л.Е., Ермолаев А.А., Шер Ю.А. // Электронная техника: сер. VI, «Микроэлектроника», 1966, вып. 2.

УДК 621.382

Головяшкин[1] А.Н., Рогулин[2] М.Н.

[1,2] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] angpenza@yandex.ru

[2] max.rogulin@mail.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЛАВИННОГО ПРОБОЯ В КРЕМНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕГИРУЮЩЕЙ ПРИМЕСИ В БАЗЕ ДИОДНЫХ СТРУКТУР

Аннотация. При проведении расчётов и проектирования различных полупроводниковых компонентов на базе диодной структуры обязательным является определение предельных параметров, к которым относится максимально допустимое обратное напряжение. Во многих случаях это значение определяется напряжением лавинного пробоя, которое зависит от ряда факторов. К таким факторам относится температура и концентрация легирующей примеси в базовой области структуры. Поскольку параметры структуры необходимо оптимизировать для выполнения всех заданных требований технического задания на проектирование, обязательно возникнет необходимость в проведении повторных расчётов напряжения лавинного пробоя при любых изменениях профилей распределения примеси в базе для различных температурных режимов работы диодной структуры. Для упрощения и ускорения инженерных расчётов в данной работе приведена методика определения напряжения лавинного пробоя, позволяющая одновременно учитывать влияние изменения концентрации базовой примеси и температуры для диодных структур на основе монокристаллического кремния.

Ключевые слова: лавинное умножение, напряжение лавинного пробоя, кремний, база диода, температурный коэффициент напряжения пробоя

Golovyashkin[1] A.N., Rogulin[2] M.N.

[1,2] Penza State University, Penza, Russia

[1] angpenza@yandex.ru

[2] max.rogulin@mail.ru

METHOD FOR DETERMINING AVALANCHE BREAKDOWN VOLTAGE IN SILICON DEPENDING ON TEMPERATURE AND DOPANT CONCENTRATION IN THE BASE OF DIODE STRUCTURES

Annotation. When performing calculations and designing various semiconductor components based on a diode structure, it is mandatory to determine the limit parameters, which include the maximum allowable reverse voltage. In many cases, this value is determined by the avalanche breakdown voltage, which depends on a number of factors. Such factors include the temperature and concentration of the dopant in the base region of the structure. Since the parameters of the structure must be optimized to meet all the specified requirements of the design specification, it will definitely be necessary to re-calculate the avalanche voltage with any changes in the impurity distribution profiles in the base for different temperature modes of operation of the diode structure. To simplify and accelerate engineering calculations, this paper presents a method for determining the avalanche breakdown voltage, which allows simultaneously taking into account the influence of changes in the concentration of the base impurity and temperature for diode structures based on monocrystalline silicon.

Keywords: avalanche multiplication, avalanche breakdown voltage, silicon, diode base, temperature coefficient of breakdown voltage

Введение. Лавинный пробой возникает в результате ударной ионизации при взаимодействии подвижных носителей заряда с нейтральными атомами, где непосредственное резкое увеличение тока обусловлено лавинным размножением носителей заряда под действием сильного электрического поля. Лавинное умножение возникает, когда свободный носитель заряда на длине свободного пробега приобретает энергию, достаточную для ударной ионизации. Образующиеся при ионизации свободные электроны и дырки также начинают ускоряться и образовывать другие пары свободных носителей, тем самым процесс приобретает характер лавины.

Напряжение лавинного пробоя является одним из важнейших параметров большинства полупроводниковых компонентов, поэтому важно знать, как изменится напряжения при воздействии на компонент той или иной температуры [1].

Методика расчета. В работе использована зависимость напряжения лавинного пробоя в кремнии от температуры при различных концентрациях в базе диодной структуры, которая представлена на рис. 1 [2].

Для точного описания влияния температуры был произведен расчет температурного коэффициента. В начале необходимо рассчитать напряжения пробоя при температуре 300 К при различных концентрациях легирующей примеси N. Для этого при N=10^{16} см^3 использовано выражение (1), при N=10^{15} см$^{-3}$ и N=10^{14} см$^{-3}$ использовано выражение (2) [3]:

$$U_{\text{пр.р}} = U_{0,\text{р}} \cdot \left(\frac{N_0}{N}\right)^{y_s} \quad (1)$$

где $U_{0,\text{р}}$ = 59,3 (55,9) В и y_s = 0,63 (0,638)

$$N = N_1 \cdot \frac{U_\text{р}}{U_{\text{пр}}} \left(ln \frac{U_{\text{пр}}}{U_\text{р}}\right)^{-\frac{2}{m}} \quad (2)$$

где $U_\text{р}$= 1,861 (1,843) В и N_1 = $3{,}54 \cdot 10^{18}$ ($3{,}21 \cdot 10^{18}$) см$^{-3}$ m=1

Результаты расчёта представлены в табл. 1.

Напряжение пробоя при различных концентрациях легирующей примеси и температуре 300 К

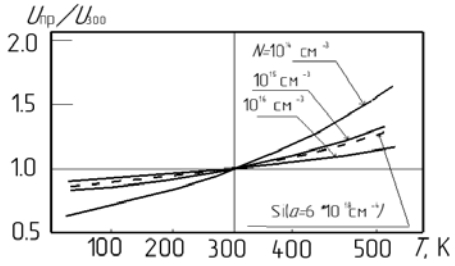
Таблица 1

Концентрация примесей, $см^{-3}$	Напряжение пробоя, В
10^{16}	55,9
10^{15}	267
10^{14}	1470

Далее по формуле (3) был произведем расчет температурного коэффициента:

$$TKU_{\text{пр}} = \frac{1}{U_0} \cdot \frac{dU}{dT} \quad (3)$$

В первом случае примем для U_0 примем равной значениям, которые получились при расчетах по формулам (1) и (2). После проведения расчетов получились значения, которые представлены в табл. 2.



Спролошная линия - резкий p-n переход, пунктирная - плавный p-n переход

Рисунок 1 – Зависимость напряжения лавинного пробоя ($U_{\text{пр}}$) к напряжению пробоя при 300 К (U_{300}) для различных температур (T)

Таблица 2

Рассчитанные температурные коэффициенты при различных концентрациях при 300 К

ΔU, В	T, К	ΔT, К	N, $см^{-3}$	$TKU_{\text{пр}} \cdot 10^{-3}$, 1/К
876	500	200	10^{14}	2,187
376	400	100	10^{14}	1,875
376	200	100	10^{14}	1,875
626	100	200	10^{14}	1,562
125	500	200	10^{15}	1,25
62,5	400	100	10^{15}	1,25
46,875	200	100	10^{15}	0,9375
78,125	100	200	10^{15}	0,7812
10	500	200	10^{16}	0,625
5	400	100	10^{16}	0,625
5	200	100	10^{16}	0,625
7,5	100	200	10^{16}	0,468

Далее произведем расчеты напряжений при температурах 100 К и 500 К и различных концентрациях используя ранее рассчитанные значения при температуре 300 К при различных концентрациях и рис. 1.

Для N=10^{14} $см^{-3}$:

$U_{100} = 1470 \cdot 0.6875 = 1011\text{В}$

$U_{500} = 1470 \cdot 1.4375 = 2113\text{В}$

Для N=10^{15} $см^{-3}$:

$U_{100} = 267 \cdot 0.8125 = 216.983\text{В}$

$U_{500} = 267 \cdot 1.25 = 333.75\text{В}$

Для N=10^{16} $см^{-3}$:

$U_{100} = 55.9 \cdot 0.875 = 48.913\text{В}$

$U_{500} = 55.9 \cdot 1.125 = 62.887\text{В}$

Аналогично как проводились расчеты температурного коэффициента при температуре 300 К, были произведены расчеты для температур 100 К и 500 К используя новые значения напряжений. После расчетов получились результаты, которые представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Рассчитанные температурные коэффициенты при различных концентрациях при 100 К

ΔU, В	T, К	ΔT, К	$N_б$ $см^{-3}$	$TKU_{\text{пр}} \cdot 10^{-3}$, 1/К
1500	500	400	10^{14}	2,727
1000	400	300	10^{14}	2,424
625	300	200	10^{14}	2,273
250	200	100	10^{14}	1,818
203,125	500	400	10^{15}	1,25
140,625	400	300	10^{15}	1,154
78,125	300	200	10^{15}	0,961
31,25	200	100	10^{15}	0,769
17,5	500	400	10^{16}	0,625
12,5	400	300	10^{16}	0,595
7,5	300	200	10^{16}	0,535
2,5	200	100	10^{16}	0,357

Таблица 4

Рассчитанные температурные коэффициенты при различных концентрациях при 500 К

ΔU, В	T, К	ΔT, К	$N_б$ $см^{-3}$	$TKU_{\text{пр}} \cdot 10^{-3}$, 1/К
500	100	400	10^{14}	1,739
875	200	300	10^{14}	1,522
1250	300	200	10^{14}	1,449
1500	400	100	10^{14}	1,304
62,5	100	400	10^{15}	1
125	200	300	10^{15}	1
171,875	300	200	10^{15}	0,917
203,125	400	100	10^{15}	0,813
5	100	400	10^{16}	0,556
10	200	300	10^{16}	0,556
15	300	200	10^{16}	0,556
17,5	400	100	10^{16}	0,486

Заключение. Таким образом, представленная методика расчета лавинного пробоя диодных структур позволяет учитывать одновременное влияние и температуры, и концентрации легирующей примеси базовой области. Кроме того, из полученных результатов можно сделать вывод о том, что уменьшение уровня легирования базы увеличивает степень влияние температуры. Это можно объяснить тем, что при уменьшении концентрации ионизированной примеси в базе увеличивается влияние решеточного рассеивания свободных носителей заряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С. Зи. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984

2. Шашкина А.С., Кривошейкин А.В., Скворцов Н.Н., Воротков М.В. Лавинный пробой p-n-перехода в задачах радиотехники // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 5. С. 864–871. *doi*: 10.17586/2226-1494-2016-16-5-864-871

3. Кюрегян А. С. Напряжение лавинного пробоя p-n-переходов на основе Si, Ge, SiC, GaAs, GaP и InP при комнатной температуре //Физика и техника полупроводников. – 1989. – Т. 23. – №. 10. – С. 1819-1827.

УДК 543.452, 681.785.2

Бадеева[1] Е.А., Мурашкина[2] Т.И., Бадеев[3] В.А., Дудоров[4] Е.А.

[1,2,3,4] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] badeeva_elena@mail.ru

[2] timurashkina@mail.ru

[3] vladbadeev4464@gmail.com

[4] evgenydudorov@yandex.ru

КОНСТРУКТИВНЫЙ СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Аннотация. Для обеспечения устойчивого развития Пензенского региона важное значение приобретает внедрение экологических инноваций, экотехнологий, защита окружающей среды. Показано, что большинство доступных технологий контроля качества природных и техногенных жидкостей требуют значительной и длительной пробоподготовки образцов с участием специализированного персонала, что приводит к высокой цене и малой эффективности результатов измерений. Предложен микрорефрактометрический измерительный преобразователь волоконно-оптического типа, обеспечивающий повышение точности измерений показателей преломления жидкостей для повышения их качественных характеристик.

Ключевые слова: дополнительная погрешность, волоконно-оптический датчик, оптическое волокно, изгиб, надежность, конструктивный способ

Badeeva[1] E.A., Murashkina[2] T.I., Badeev[3] V.A., Dudorov[4] E.A.

[1,2,3,4] Penza State University, Penza, Russia

[1] badeeva_elena@mail.ru

[2] timurashkina@mail.ru

[3] vladbadeev4464@gmail.com

[4] evgenydudorov@yandex.ru

A CONSTRUCTIVE WAY TO REDUCE ADDITIONAL COSTS ERRORS OF FIBER-OPTIC SENSORS

Annotation. To ensure the sustainable development of the Penza region, the introduction of environmental innovations, eco-technologies, and environmental protection is of great importance. It is shown that most of the available technologies for quality control of natural and man-made liquids require significant and long-term sample preparation with the participation of specialized personnel, which leads to a high price and low efficiency of measurement results. A microrefractometric fiber-optic type measuring transducer is proposed, which provides an increase in the accuracy of measurements of refractive indices of liquids to improve their qualitative characteristics.

Keywords: additional error, fiber optic sensor, optical fiber, bending, reliability, constructive method

Введение. Точность измерений с помощью волоконно-оптических датчиков (ВОД) различных физических величин в значительной степени зависит от стабильности параметров волоконно-оптического кабеля (ВОК), одного из основных элементов таких датчиков [1]. На основании анализа метрологической и механической надежности известных ВОД [2] сделан важный методологический вывод: для повышения надежности ВОИИС в сложных условиях эксплуатации необходимо исключить механические информативные и неинформативные изгибы волоконно-оптического кабеля (ВОК). Но данное утверждение не относится к изгибам оптических волокон, которые являются конструктивным элементом датчика и которые неподвижно закреплены в конструкции датчика [3].

Ранее разработана унифицированная конструкция ВОК для ВОД разных физических величин, построенных на разных принципах действия (рисунок 1) [1].

ВОК представляет собой конструктивную совокупность подводящих (ПОВ) и отводящих (ООВ) оптических волокон двух измерительных каналов (ИК), причем все оптические волокна расположены в едином кабельном изделии. В разработанной конструкции ВОК изменяется только положение и количество оптических волокон в рабочих торцах кабеля, которые соответствуют местам стыковки кабеля со свето- и фотодиодами и местам расположения относительно разного рода оптических модулирующих элементов (ОМЭ) [4]. Данная конструкция ВОК может быть использована для двухканальных ВОД других физических величин, если Данная конструкция ВОК может быть использована для двухканальных ВОД других физических величин, если ОМЭ располагается между подводящими и отводящими оптическими волокнами [5].

В таких ВОД оптические волокна с одного конца объединены в два пучка №1 и №2, между которыми будет расположен ОМЭ. Например, в ВОД качества жидкостей между ними располагается цилиндрическая трубка с исследуемой жидкостью [6].

С противоположной стороны оптические волокна объединены в три пучка №3, №4 и №5, первые два торца которых соединены с рабочим и компенсационным приемниками (ПИ) соответственно, а торец третьего соединяется с источником излучения (ИИ).

ВОК вносит существенную дополнительную погрешность $\Delta_{ВОК}$ в результат измерения, что связано с уменьшением светопропускания оптических волокон (ОВ) при изгибах ВОК [2].

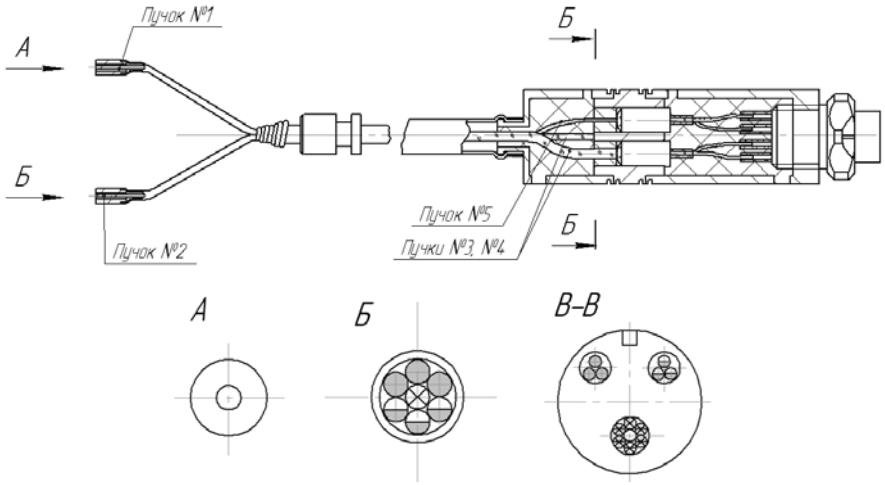


Рисунок 1 – Конструкция ВОК двухканального рефрактометрического волоконно-оптического датчика качества жидкостей

Цель работы снижение дополнительной погрешности ВОД, обусловленной изгибами оптических волокон, конструктивным путем.

Методы и подходы. Дополнительную погрешность, обусловленную изгибами оптических волокон целесообразно представить в виде суммы двух составляющих $\Delta_{ВОК}=\Delta\Theta+\Delta\alpha$, где $\Delta\Theta$, $\Delta\alpha$ - погрешности, обусловленные возникновением излучательных мод апертурных и внеапертурных лучей при изменении радиуса изгиба ОВ.

Самый простой способ исключения погрешности $\Delta\Theta$ - отсутствие случайных изгибов ВОК в процессе измерения и во время сборки, аттестации и испытаний датчиков за счет жесткого крепления.

Чтобы исключить погрешность $\Delta\alpha$, необходимо исключить попадание внеапертурных лучей в ОВ, для чего предлагается начальный участок ОВ (в зоне стыковки с ИИ) закрепить на жестком стержне в виде спирали с шагом S (рисунок 2).

Результаты

Радиус R изгиба ОВ определяется тремя выражениями [8]:

$$R_{min} \geq \frac{n_c+n_o}{n_c-n_o} r_c, \qquad R_{min} \geq (10\ldots20) r_c, \qquad R_{min} > \frac{E}{r_{ОВ}(2\ldots3)[\sigma_{ДОП}]}, \qquad (1)$$

где R_{min} - минимальный радиус изгиба ОВ; $n_С$, $n_О$ - показатели преломления сердцевины и оболочки ОВ; $r_С$ - радиус сердцевины ОВ; $[\sigma_{ДОП}]$ - механические напряжения изгиба, возникающие в ОВ при накручивании; E - модуль Юнга оптического волокна; $r_{ов}$ - радиус ОВ в покрытии.

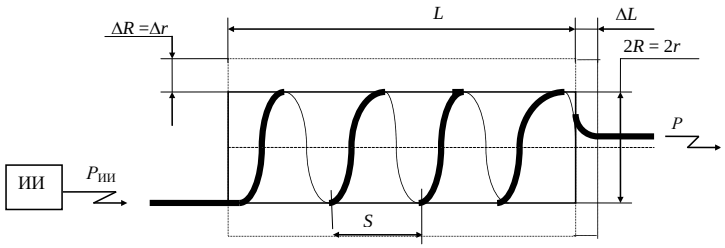


Рисунок 2 – Крепление ВОК на жестком стержне

При увеличении шага скрутки S радиус R изгиба ОВ увеличивается, а значение напряжений уменьшается, поэтому целесообразно стремиться к максимальному увеличению шага S.

Мощность светового потока P, поступающего по ОВ в зону измерений, определяется выражением $P = ke^{\chi L}e^{-\frac{(NA)^2}{r_c}R}P_{ИИ}$, где k - коэффициент потерь светового потока в узле стыковки ИИ и ОВ; $P_{ИИ}$ - мощность светового потока источника излучения ИИ; χ - коэффициент экстинкции материала сердцевины ОВ; NA - числовая апертура ОВ.

Дополнительная погрешность ВОД в значительной степени зависит также от стабильности параметров ИИ. В качестве ИИ используются светодиоды как наиболее надежные и отвечающие комплексу жестких требований. В то же время для светодиодов характерна температурная нестабильность параметров, например, мощность излучения ИК-светодиодов типа 3Л107Б изменяется на 30 % при изменении температуры окружающей среды в диапазоне ±50 °С [8].

Поэтому предлагается способ взаимной компенсации погрешностей, обусловленных изменением параметров ВОК и ИИ при изменении температуры окружающей среды.

Методом логарифмического дифференцирования определим температурную погрешность, вызванную изменением мощности ИИ РИИ и геометрических параметров ОВ, закрепленного на стержне, при изменении температуры окружающей среды на значение ΔT. Имеем

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta k}{k} + \chi L - 2\frac{R}{r_C}\Delta NA - \frac{(NA)^2}{r_C}\Delta R + \frac{\Delta P_{ИИ}}{P_{ИИ}} \quad (2)$$

Условие температурной компенсации: dP/P=0. Тогда при Δk=0 и ΔNA ≈ 0 окончательно имеем:

$$\frac{\Delta P_{ИИ}}{P_{ИИ}} = \chi L - \frac{(NA)^2}{r_c}\Delta R \quad (3)$$

Определим условия, при которых выражение (3) имеет смысл. В соответствии с рисунком 2 длина ОВ, закрепленного на стержне, определится следующим выражением: $L = n\sqrt{S^2 + (2\pi R)^2}$, где n - количество витков ОВ, закрепленного на стержне.

При изменении температуры окружающей среды на значение ΔT радиус r и длина H стержня, изготовленного из металла с температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) $\alpha_т$, увеличатся на значения: $\Delta r = \alpha_т \Delta T r$, $\Delta H = \alpha_т \Delta T H$. Соответственно, увеличатся радиус R и длина L оптического волокна, закрепленного на стержне, на значения $\Delta R \approx \Delta r \approx \alpha_т \Delta T r$, $\Delta L = \sqrt{\Delta S^2 + (2\pi \Delta r^2)}$, где $\Delta S = \frac{\alpha_T \Delta T H}{n}$, тогда

$$\Delta L = n \Delta T \alpha_T \sqrt{\frac{H^2}{n^2} + 4\pi^2 r^2}$$

Если отталкиваться от данных работы [9], то с достаточной точностью можно считать, что при подключении арсенидо-галлиевых светодиодов к генератору тока изменение мощности излучения $\Delta P_{ИИ}$ линейно уменьшается при возрастании температуры от минус 50 до +50 °С, то есть $\Delta P_{ИИ} = - m \Delta T P_{ИИ}$, где m - коэффициент пропорциональности, равный тангенсу угла наклона зависимости $P_{ИИ} = f(T)$. Например, для светодиодов типа 3Л107Б значение коэффициента m лежит в пределах 0,1...0,3 [9].

Совместное решение вышеприведенных выражений дает следующий результат:

$$m = -(\chi n \alpha_T \sqrt{\frac{H^2}{n^2} + 2\pi^2 r^2 - \frac{(NA)^2}{r_c}\alpha_T r}$$

Для определения геометрических параметров H, r, n, при которых данное условие выполняется, составлена программа расчета, в которой параметру n присваивались значения из ряда 1...10 с шагом 1, а параметру r - значения из ряда 1...15 мм с шагом 1 мм. Искомой величиной являлась высота стержня H, изготовленного из алюминия с коэффициентом температурного расширения $\alpha_т = 23 \cdot 10^{-6}$ град$^{-1}$. Выбрано ОВ с $NA = 0{,}2$; $r_C = 100$ мкм; $\chi \approx 1$, $m \approx 0{,}3$. Наиболее оптимальным представляется следующее расчетное соотношение параметров: $n = 15$; $r = 7{,}5$ мм; $H = 58$ мм; $S = 3{,}9$ мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. **НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОЦЕССУ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПОЗВОЛЯЕТ ПРОВОДИТЬ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКУ КАЧЕСТВА ЖИДКОСТИ.**

Полученные научные результаты можно применить при проведении различных экологических и эпидемиологических мероприятий по оценке условий окружающей среды. Результаты исследований будут использоваться при разработке безопасной для здоровья жителей региона надежной, малогабаритной, высокоточной рефрактометрической волоконно-оптической системы мониторинга жидкостных сред в городской среде, технологических процессах, медицинских приложениях.

ФИНАНСИРОВАНИЕ. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00595, https://rscf.ru/project/24-29-00595/

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадеева Е.А., Савочкина М.М., Мотин А.В., Юрова О.В., Удалов А.Ю., Шачнева Е.А., Мурашкина Т.И. Конструктивно-технологические принципы изготовления унифицированных ВОК для датчиков с открытым оптическим каналом // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: Сб. трудов XIV Международной научно-практической конференции/ под. ред. С.У. Увайсова. Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского. 2017. С. 245-250

2. БадееваЕ.А., Гориш А.В. Анализ механической надежности волоконно-оптического кабеля для датчиков // Информационно-измерительная техника, экология и мониторинг : науч. тр. - Вып. 6 (2003). - М. : Росавиакосмос : МГУЛ, 2003. - С. 243-254.

3. Зуев В.Д., Кривулин Н.П., Мурашкина Т.И. Волоконно-оптический преобразователь перемещений с модулирующим элементом в виде шарообразной линзы // Надежность и качество: Тр. Междунар. симп. / Под ред. Н. К. Юркова. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. - Т. 1. - С. 503-505.

4. Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А. Волоконно-оптические приборы и системы: Научные разработки НТЦ "Нанотехнологии волоконно-оптических систем" Пензенского государственного университета Ч. I / СПб.: Политехника, 2018. 187 с. - с.87-91, https://doi.org/10.25960/7325-1132-1

5. Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Полякова Е.А., Славкин И.Е., Кукушкин А.Н. Реализация принципа двухканальности в волоконно-оптических информационно-измерительных системах// Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки - Пенза: Изд-во Пенз. Гос ун-та. - 2021. - №2 (58). - с. 87-98.

6. Бадеев В.А., Мурашкина Т.И. Микрорефрактометрический измерительный преобразователь для определения качества жидкостных сред/ Надежность и качество: Тр. Междунар. симп. / Под ред. Н. К. Юркова. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2023. - Т.1 - С.474-476.

7. Вейнберг В.Б., Саттаров Д.К. Оптика световодов. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1977.

8. Иванов В.И., Аксенов А.И., Юмин А.М. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник / 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 448 с.

9. Конюхов Н.Е., Плютт А.А., Марков П.И. Оптоэлектронные контрольно-измерительные устройства. - М.: Энергоатомиздат.- 1985 - 152 с.

УДК 621.382

Баннов[1] В.Я., Головяшкин[2] А.Н., Соловьев[3] В.А., Суханкин[4] Д.Ю., Колесников[5] А.В.

[1,2,3] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[4,5] Научно-исследовательский институт физических измерений, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ СТРУКТУРЫ «КРЕМНИЙ НА ДИЭЛЕКТРИКЕ»

Аннотация. Целью работы является разработка полупроводниковых МЭМС датчиков давления на базе раннее разработанных методик расчётов, алгоритмов и компьютерных программ, реализующие установленные оптимальные соотношения между параметрами микроэлектромеханической системы и обеспечивающие повышенную точность измерения, чувствительность, линейность. Конструкции полупроводниковых МЭМС датчиков давления, созданные с использованием этих инженерных методик расчета, обеспечивают повышение чувствительности, значительное уменьшение погрешности нелинейности. Применение разработанных методик, алгоритма и программы позволило повысить точность расчетов микроэлектромеханической системы более чем в 7 раз (погрешность расчетов снижена с 55 до 6,6 %).

Ключевые слова: структура и технология «кремний на диэлектрике» (КНД), микроэлектромеханические системы, полупроводниковые датчики давления, тензорезистивные элементы

Bannov[1] V.Ya., Golovyashkin[2] A.N., Soloviev[3] V.A., Sukhankin[4] D.Yu., Kolesnikov[5] A.V.

[1,2,3] Penza State University, Penza, Russia

[4,5] Scientific Research Institute of Physical Measurements, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

SEMICONDUCTOR MEMS BASED ON THE STRUCTURE "SILICON ON A DIELECTRIC"

Annotation. The aim of the work is to develop semiconductor MEMS pressure sensors based on previously developed calculation methods, algorithms and computer programs that implement the established optimal ratios between MEMS parameters and provide increased measurement accuracy, sensitivity, and linearity. The designs of semiconductor MEMS pressure sensors, created using these engineering calculation methods, provide an increase in sensitivity, a significant reduction in the error of nonlinearity. The application of the developed methods, algorithm and program allowed to increase the accuracy of MEMS calculations by more than 7 times (the calculation error was reduced from 55 to 6.6%).

Keywords: structure and technology of "silicon on a dielectric", microelectromechanical systems, semiconductor pressure sensors, strain-resistant elements

Введение.

Конструкции полупроводниковых датчиков давления на основе МЭМС постоянно совершенствуются, повышается чувствительность, стабильность, надёжность, уменьшаются основная и дополнительная погрешности измерения, расширяется температурный диапазон.

Предварительно проведённые теоретические исследования послужили основой для создания новых технических решений полупроводниковых МЭМС датчиков давления. В них реализованы установленные оптимальные соотношения между параметрами МЭМС, они обеспечивают повышенную точность измерения, обладают высокой чувствительностью, линейностью. Эти результаты были достигнуты благодаря применению раннее разработанных методик расчёта, алгоритма и компьютерных программ [1–5].

Конструкции полупроводниковых МЭМС

В ходе проведённой работы были разработаны полупроводниковые МЭМС на базе структуры «кремний на диэлектрике». Первый вариант конструкции представленная на рисунке 1. Технические требования для разработки полупроводниковой МЭМС представлены в таблице 1. В проектируемой топологии центры тензорезисторов $R1$ – $R4$ размещены на расстоянии l = 1 мм от центра мембраны. Для измерения давления 0,2 МПа использовался профилированный кристалл с мембраной квадратной формы и жестким центром размером $a_ц$ = 1 мм, который показан на рисунке 1, *б*. Для измерения давлений 1…25 МПа использовался профилированный кристалл с мембраной квадратной формы без жесткого центра, представленный на рисунке 1, *в*. Размеры $a_м$ и $h_м$ мембран для кристалла рассчитывались по системе уравнений [1 – 3]. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Диапазоны измерения и геометрические параметры полупроводниковой МЭМС измерительного функционального модуля давления и температуры — Таблица 1

Номинальное давление P, МПа	Толщина мембраны $h_{м.}$, мкм	Размер мембраны $a_{м.}$, мм	Толщина кремниевого кристалла $H_{кр.}$, мм	Рисунок
0,2	20±3	2,02±0,04	300±10	1,*а*
1	50±3	2,02±0,04	300±10	1,*б*
5	105±5	2,02±0,04	300±10	1,*б*
10	145±5	2,01±0,04	500±10	1,*б*
25	215±5	1,95±0,04	500±10	1,*б*

Второй вариант конструкции полупроводниковой МЭМС показан на рисунке 2.

Расположение тензорезисторов *R*1 – *R*4 в областях с максимальными относительными положительными деформациями позволяет получить максимально возможную чувствительность к измеряемому давлению. В первую очередь конструкция отличается наличием терморезисторов *R*5, *R*6 и *R*7, которые позволяют осуществлять температурную компенсацию выходного сигнала.

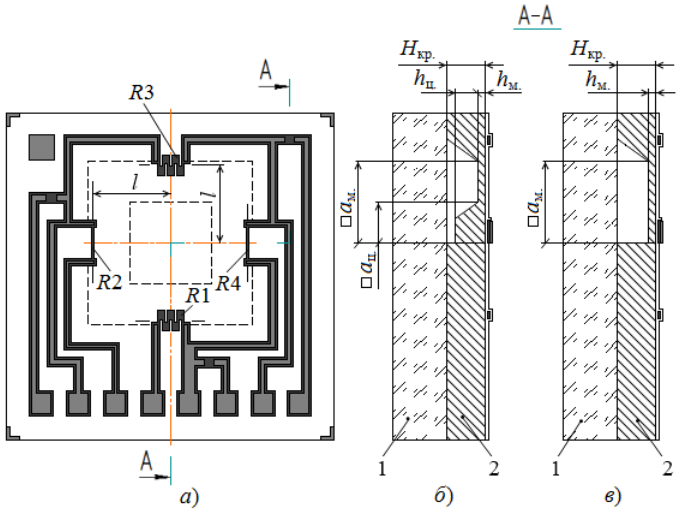


Рисунок 1 – Полупроводниковая МЭМС измерительного функционального модуля давления и температуры: 1 – стеклянное основание; 2 – кремниевый кристалл

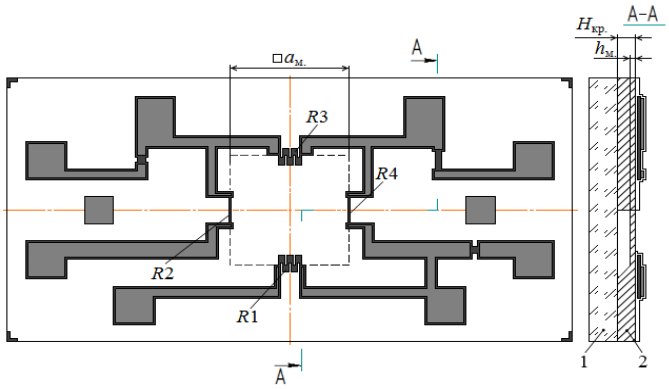


Рисунок 2 – Полупроводниковая МЭМС высокотемпературного датчика давления: 1 – стеклянное основание; 2 – кремниевый кристалл

Предложенные технические решения полупроводниковых МЭМС датчиков давления обеспечивают повышенную точность измерения и обладают высокой чувствительностью, линейностью.

Сопоставление экспериментальных данных с результатами исследования

Для определения достоверности результатов теоретических исследований проводилось сравнение отношений размеров мембран к толщине $a_м/h_м$ полупроводниковых МЭМС, использующихся при проектировании датчиков давления типа ДАЭ 100, ДАЭ 107, ДАЭ 110 и ДАЭ 112. Зависимости отношений $a_м/h_м$ от измеряемого давления *P* представлены на рисунке 3. Исходные данные и результаты расчетов представлены в таблице 2.

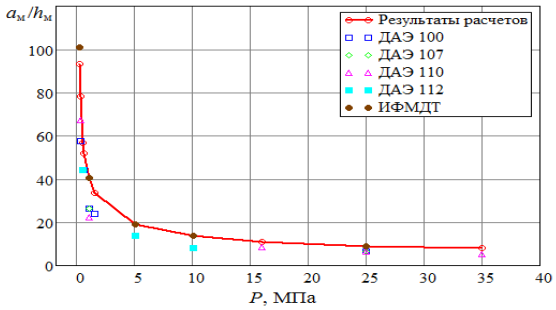


Рисунок 3 – Зависимость отношения размера мембраны к ее толщине $a_м/h_м$ для рассматриваемых МЭМС датчиков от номинального давления *P*

Для анализа рассчитывался разброс выходного сигнала $\gamma_{вых}$ рассматриваемых МЭМС по следующей формуле:

$$\gamma_{вых} = \frac{U_{вых max} - U_{вых min}}{U_{вых max}} \cdot 100\% \ , \qquad (1)$$

где $U_{\text{вых}_{max}}$ – максимальное значение выходного сигнала диапазонов рассматриваемого датчика;

$U_{\text{вых}_{min}}$ – минимальное значение выходного сигнала диапазонов рассматриваемого датчика.

Параметры полупроводниковых МЭМС датчиков ДАЭ 100, ДАЭ 107, ДАЭ 110, ДАЭ 112, ИФМДТ и полученные расчетным путем

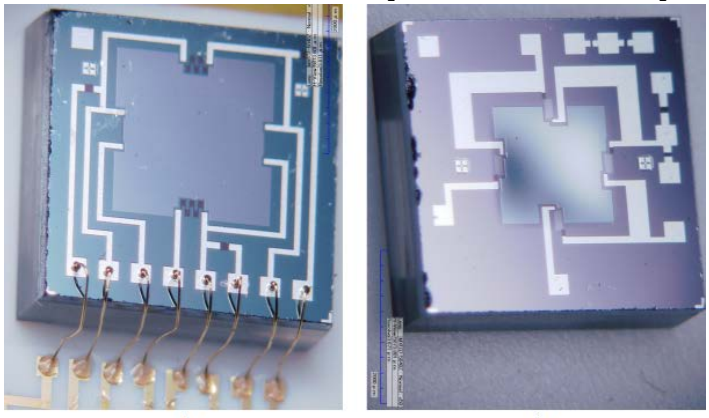
Таблица 2

	*Технология изготовления МЭМС	$P_{ном}$, МПа	$a_м$, мм	$h_м$, мкм	$a_м/h_м$	$U_{вых}$, мВ/В	$\gamma_{вых}$, %
ДАЭ 100	1	0,25	1,32	23	57,4	26,2	50,6
		0,6		30	44	52	
		1		50	26,4	53,02	
		1,5		55	24		
		25		210	6,3	42,2	
ДАЭ 107	1	0,6	1,32	30	44	53,1	44,26
		1		50	26,4	29,6	
		25		210	6,3	43,4	
ДАЭ 110	2	0,25	1,68	25	67,2		24,66
		1		75	22,4	11	
		16		200	8,4		
		25		260	6,5		
		35		320	5,3	14,6	
ДАЭ 112	2	0,5	1,68	30	56	30	55,33
		5		95	17,7	14,6	
		10		165	10,2	13,4	
ИФМДТ	2	0,2	2,02	20	101	41,22	6,6
		1	2,02	50	40,4	44,12	
		5	2,02	105	19,24		
		10	2,01	145	13,86	41,2	
		25	1,95	215	9,1		
Результаты расчетов	2	0,2	2,02	21,7	93	60	
		0,25	2,02	25,8	78,3		
		0,5	2,02	35,7	56,5		
		0,6	2,02	39	51,8		
		1	2,02	49,7	40,7		
		1,5	2,02	60,3	33,5		–
		5	2,02	107	18,9		
		10	2,01	146,9	13,7		
		16	1,99	179,6	11,1		
		25	1,95	214,3	9,1		
		35	1,92	242	7,9		

* 1 – объемная микромеханика; 2 – кремний на диэлектрике.

В процессе исследования были изготовлены МЭМС на базе структуры «кремний на диэлектрике» измерительного функционального модуля давления и температуры ИФМДТ, представленные на рис. 4, *а*, для диапазонов давления 0...0,2 МПа, 0..1 МПа, 0...10 МПа. Геометрические параметры изготовленных МЭМС представлены в таблице 3.

На диапазон давления 0...0,2 МПа были изготовлены МЭМС на базе профилированного кристалла с квадратной мембраной и жестким центром (рис. 5, *а*). На диапазоны давления 0..1 МПа и 0...10 МПа – на базе профилированного кристалла с квадратной мембраной без жесткого центра (рис. 5,*б*). Результаты эксперимента анализировались и сопоставлялись с экспериментальными данными МЭМС на базе структуры КНД датчика давления ДАЭ 110, представленной на рис. 4, *б*.



а) *б*)

Рисунок 4 – Полупроводниковые МЭМС на базе структуры КНД:

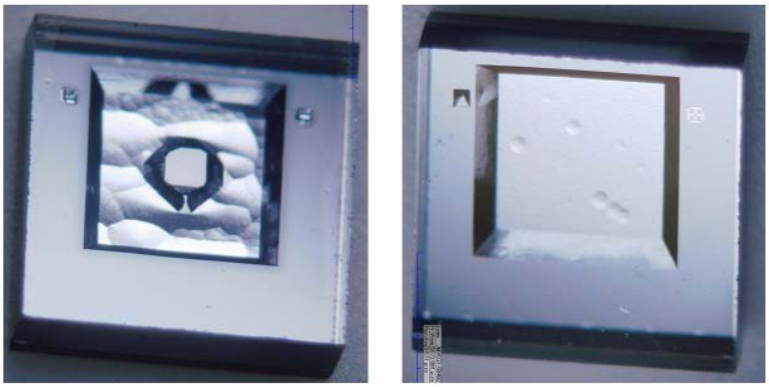
а – измерительного функционального модуля давления и температуры ИФМДТ;
б – датчика давления ДАЭ 110

Сравнение проводилось для следующих характеристик МЭМС:
- зависимости выходного сигнала на различные диапазоны измеряемого давления;
- чувствительность МЭМС к измеряемому давлению (мВ/В);
- погрешность от нелинейности измерительной цепи МЭМС, рассчитанная по следующей формуле:

$$\gamma_{\text{нелин}} = \left|\frac{U_{\text{вых}} - U_{\text{вых.лин}}}{U_{\text{вых.лин}}}\right| \cdot 100\% \ , \qquad (2)$$

где $U_{\text{вых}}$ – значение выходного сигнала измерительной цепи МЭМС;

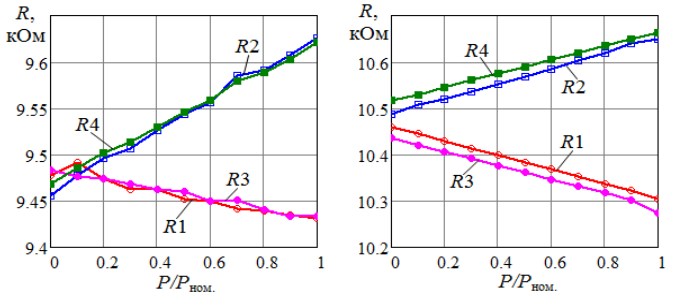
$U_{\text{вых.лин}}$ – значение выходного сигнала линейной характеристики датчика, построенной по крайним точкам градуировочной характеристики МЭМС.



а) *б)*

Рисунок 5 – Изготовленные МЭМС измерительного функционального модуля давления и температуры на базе: *а* – профилированного кристалла с квадратной мембраной и жестким центром; *б* – профилированного кристалла с квадратной мембраной без жесткого центра

Результаты градуировки тензорезисторов МЭМС датчика давления ДАЭ 110 на диапазоны 0...1 МПа и 0...35 МПа представлены на рис. 6. Результаты градуировки выходного сигнала МЭМС датчика давления ДАЭ 110 на диапазоны 0...1 МПа и 0...35 МПа представлены на рис. 7.



а) *б)*

Рисунок 6 – Градуировка тензорезисторов МЭМС датчика давления ДАЭ 110 на 1 МПа (*а*) и 35 МПа (*б*)

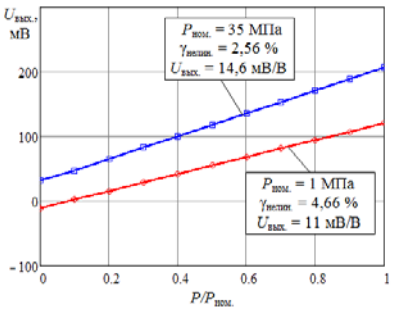
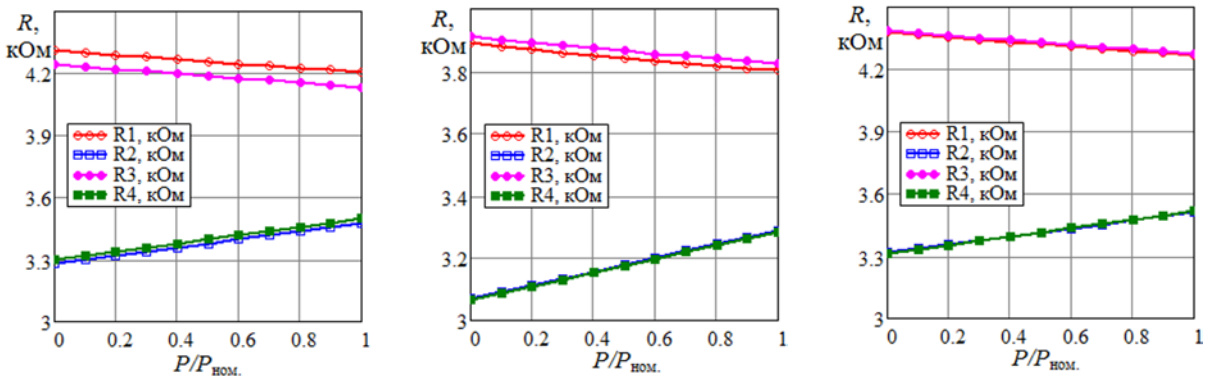


Рисунок 7 – Градуировка выходного сигнала МЭМС датчика давления ДАЭ 110



а) б) в)

Рисунок 8 – Градуировка тензорезисторов МЭМС измерительного функционального модуля давления и температуры ИФМДТ на диапазоны давления 0...0,2 МПа (*а*), 0...1 МПа (*б*) и 0...10 МПа (*в*)

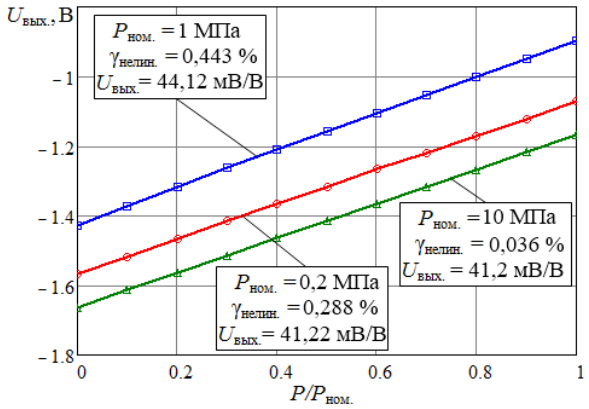


Рисунок 9 – Градуировка выходного сигнала МЭМС измерительного функционального модуля давления и температуры ИФМДТ

Результаты градуировки тензорезисторов МЭМС измерительного функционального модуля давления и температуры ИФМДТ представлены на рис. 8.

Результаты градуировки выходного сигнала МЭМС измерительного функционального модуля давления и температуры ИФМДТ на диапазоны 0...0,2 МПа, 0...1 МПа и 0...10 МПа представлены на рис. 9.

Сопоставление экспериментальных и теоретических исследований показало, что применение разработанных методик, алгоритма и программы позволяет проектировать полупроводниковые МЭМС на различные диапазоны измеряемых давлений с разбросом выходного сигнала не более 6,6 %, в то время как у серийно выпускаемых полупроводниковых МЭМС разброс выходного сигнала достигает 55 %.

Заключение

Итогом проделанной работы является разработка конструкций полупроводниковых МЭМС датчиков давления на базе профилированного кристалла с мембраной квадратной формы без жесткого центра, обеспечивающих повышенную точность за счет размещения тензорезисторов в областях с равными по абсолютной величине относительными деформациями и полупроводниковой МЭМС датчиков давления на базе профилированного кристалла мембраной квадратной формы и жестким центром, обеспечивающая повышенную точность за счет оптимального размещения тензорезисторов на плоской поверхности кристалла.

Проведённое сопоставление экспериментальных и теоретических исследований датчиков давления на базе полупроводниковых МЭМС показало, что применение разработанных инженерной методики расчета, алгоритма и программы позволяют рассчитывать полупроводниковые МЭМС с достаточной точностью на различные диапазоны измеряемых давлений. Погрешность расчетов снижена с 55 % до 6,6% (точность расчетов повышается более чем в 7 раз). Кроме того, разработанные конструкции полупроводниковых МЭМС датчиков давления обеспечивают повышение чувствительности в 3 раза и значительное уменьшение погрешности нелинейности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полупроводниковые микроэлектромеханические системы датчиков давления / В. Я. Баннов, А. Н. Головяшкин, В. А. Соловьев, Д.Ю. Суханкин, С.А. Москалев // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. - Т. 2. - С. 290-295.

2. Современные методы повышения эффективности работы полупроводниковых датчиков давления в условиях воздействия повышенной температуры / С.А. Москалев, Н.К. Юрков, И.В. Ползунов // Надежность и качество: тр. междунар. симп. - Пенза, 2012. - Т. 2. - С. 46-47.

3. Головяшкин А.Н., Васильев В.А., Громков Н.В., Москалев С.А. / Частотные преобразователи для датчиков давления на основе нано- и микроэлектромеханических систем. Монография. Изд-во ПГУ, Пенза, 2011.

4. Полупроводниковые чувствительные элементы для датчиков давления с улучшенными характеристиками на базе структур «поликремний-диэлектрик» для информационно-измерительных систем / С.А. Москалев, И.В. Ползунов, А.А. Родионов // Датчики и системы: методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации (Датчики и системы - 2012): тр. Междунар. науч.-техн. конф. с элементами научной школы для молодых ученых. - Пенза, 2012. - С. 166-169.

5. Моделирование полупроводниковых чувствительных элементов датчиков давления / С.А. Москалев // Датчики и системы: Сборник докл. XXX межрегион. научно-практич. конф. молодых ученых и специалистов - Пенза: ОАО «НИИФИ», 2011. - С. 159-162.

УДК 621.396.65, 621.396.96

Боков[1] А.С., Слизкой[2] В.К., Гусев[3] А.В., Иофин[4] А.А., Нагашибаев[5] Д.Ж.

[1,2,3] Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,Екатеринбург, Россия

[4,5] Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь», Каменск-Уральский, Россия

[1] a.s.bokov@urfu.ru

[2] v.k.slizkoi@urfu.ru

[3] a.v.gusev@urfu.ru

[4,5] tehdep630@upkb.ru

ИМИТАЦИЯ РАДИОСИГНАЛОВ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЛОКАЦИИ И СВЯЗИ

Аннотация. В работе рассмотрены структура и пример реализации имитатора, предназначенного для формирования набора радиосигналов, имитирующих отражение, ослабление и доплеровский сдвиг частоты при многолучевом распространении сигналов многоканальных систем локации и связи. Основная цифровая обработка и формирование имитирующего сигнала для каждого радиоканала «передатчик - радиоканал - приёмник» реализуется на программируемых логические интегральных схемах специализированного модуля ввода-формирования-вывода сигналов «Деталь-ЦОС». Ввод и учет переменных параметров имитации выполняется путем их расчета в программе, работающей в операционной системе Linux.

Ключевые слова: ретрансляционный имитатор, полунатурное моделирование, импульсная характеристика, цифровой формирующий фильтр, цифровая радиочастотная память

Bokov[1] A.S., Slizkoy[2] V.K., Gusev[3] A.V., Iofin[4] A.A., Nagashibaev[5] D.J.

[1,2,3] Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

[4,5] Ural Design Bureau "Detail", Kamensk-Uralsky, Russia

[1] a.s.bokov@urfu.ru

[2] v.k.slizkoi@urfu.ru

[3] a.v.gusev@urfu.ru

[4,5] tehdep630@upkb.ru

SIMULATION OF RADIO SIGNALS FOR TESTING MULTICHANNEL LOCATION AND COMMUNICATION SYSTEMS

Annotation. The paper considers the structure and an example of the implementation of a simulator designed to generate a set of radio signals simulating reflection, attenuation and Doppler frequency shift during multipath propagation of signals from multichannel location and communication systems. The main digital processing and generation of a simulating signal for each radio channel "transmitter-radio channel-receiver" is implemented on the FPGA of a specialized signal input-generation-output module "De-tal-DSP". The input and accounting of simulation variables is performed by calculating them in a program running on the Linux operating system.

Keywords: relay simulator, semi-natural modeling, pulse characteristics, digital shaping filter, digital radio frequency memory

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение требований к надежности, скорости и помехозащищенности беспроводных каналов передачи информации может достигаться различными методами. Однако при ограниченных энергетических характеристиках, ширине спектра, размерах апертур приёмо-передающих антенн, на первое место выходят методы многоканального построения систем радиосвязи и радиолокации. Пространственное разнесение нескольких приёмных и/или передающих антенн относится к технологии «***Multiple Input, Multiple Output***» (***MIMO***), т.е. «множественный вход – множественный выход». Рекордные скорости передачи в ограниченной полосе частот, в том числе для большого числа абонентов, достигаются с использованием технологии ***MIMO***. Определенный выигрыш есть даже при небольшом числе передающих и приёмных антенн в конфигурации радиоканала: 1-на-4, 2-на-2 и др. Поэтому аналогичные подходы начинают применяться при построении однопозиционных радиолокационных станций (РЛС): несколько антенн излучают зондирующие сигналы при помощи нескольких синхронизированных передатчиков, несколько антенн улавливают отражения от целей и подают сигналы на соответствующее количество приемников для дальнейшей, преимущественно цифровой обработки. Оценка относительных углов, дальности, анализ доплеровского сдвига частот принятых сигналов позволяет точнее и однозначнее определить местоположение и скорость радиолокационных целей [1]. Благодаря лучшему отношению «сигнал-шум» повышается вероятность обнаружения целей [2], за счет методов цифрового диаграммообразования улучшается разрешение по угловым координатам, возможно эффективное подавление активных помех.

При разработке многоканальных радиосистем важным является предварительная оценка качественных и точностных характеристик их работы. Такое тестирование, особенно для бортовых устройств и комплексов, очевидно выгоднее выполнять в условиях лаборатории. Так называемое полунатурное моделирование (ПНМ) позволяет выполнить тестирование опытного или серийного образца системы за счет

формирования на входах антенн (или входах радиоприёмников) радиосигналов, эквивалентных тем, что наблюдались бы в реальных ситуациях при заданных расположениях основных объектов радиолокационной сцены: приёмных и передающих антенн, слоёв земной атмосферы и поверхности, отражающих и затеняющих объектов и др. Поэтому одной из актуальных является задача создания устройств имитации радиосигналов для многоканальных систем локации и связи во всем диапазоне рабочих параметров, включая условия и режимы работы, трудно организуемые при натурных испытаниях. В этом случае, при наличии адекватных моделей распространения и отражения сигналов, возможна проверка аппаратной и интеллектуальной начинки радиосистемы и вне диапазона рабочих параметров, например, для оценки возможности применения системы на других носителях, бóльших или меньших дальностях, в стесненных условиях и др.

СТРУКТУРА МНОГОКАНАЛЬНОГО ИМИТАТОРА

Решение задачи полунатурного моделирования радиосигналов по нескольким каналам может быть решено как за счет разработки единой многовходовой системы имитации, так и за счет объединения в общую систему нескольких одноканальных имитаторов. Первый вариант позволяет эффективно решать задачи синхронизации различных каналов, выполнять имитацию перекрестного влияния. Второй вариант более прост в разработке, гибок с точки зрения достижения соответствия по числу каналов конкретной исследуемой радиосистеме, но требует дополнительных мер по обеспечению синхронной работы отдельных каналов «передатчик-радиоканал-приёмник». На рис. 1. приведен пример имитатора радиосигналов многоканальных систем. Входы и выходы сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов могут быть подключены к антеннам (в безэховой камере) или непосредственно к приёмникам и передатчикам проверяемой радиосистемы.

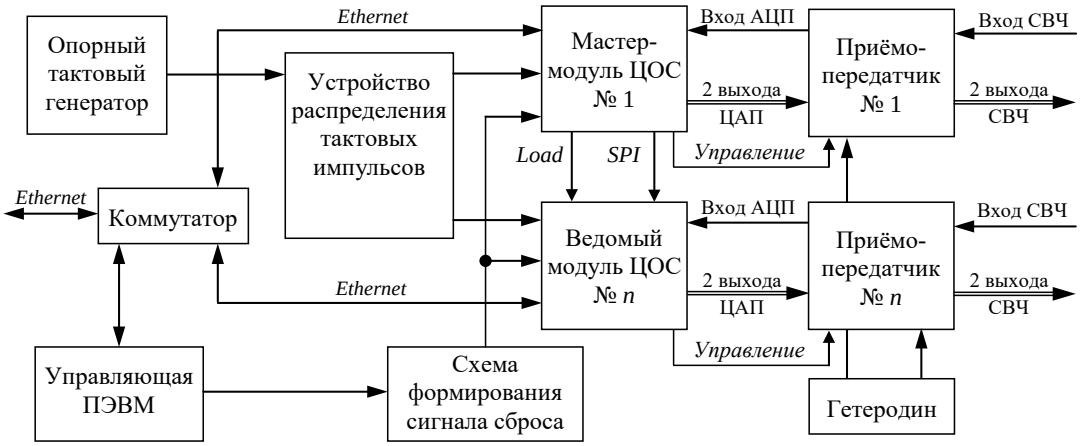


Рисунок 1 - Имитатор радиосигналов многоканальных систем

Синхронная работа двух и более каналов модулей цифровой обработки сигналов (ЦОС) обеспечивается:

1. Использованием общих гетеродина и высокостабильного опорного тактового генератора совместно с устройством распределения импульсов, имеющим возможность коррекции фазы опорного сигнала на каждом выходе.

2. Использованием общей схемы формирования сигнала сброса (внешней или на ресурсах Мастер-модуля ЦОС) предназначенного для одномоментного начала/рестарта работы всех модулей ЦОС, входящих в состав системы. Общий сигнал сброса может формироваться, как при включении питания (после загрузки модулей и инициализации их интерфейсов), так и программно, по команде с управляющей ПЭВМ.

3. Одновременность изменения параметров работы всех устройств обеспечивается следующим алгоритмом: новые параметры рассылаются управляющей ПЭВМ на все устройства, входящие в систему. После успешной передачи обновленных параметров всем устройствам, по команде от Мастер-модуля ЦОС, специальным высокоскоростным сигналом «*Load*», выдается команда для всех ведомых модулей ЦОС, применить новые параметры.

4. Для синхронной работы АЦП, ЦАП, генераторов прямого цифрового синтеза (*DDS*) в разных модулях используется режим дистанционного программирования генераторов *DDS*, разрешения работы и сброса по синхронному последовательному интерфейсу *SPI*, ведущим устройством в обмене по интерфейсу SPI, которым является устройство Мастер-модуль ЦОС.

Для увеличения числа каналов необходимо распределение параметров имитации и тактовых сигналов вычислительных модулей в топологии «звезда» для уменьшения деградации синхронизации. Для второй задачи актуальным является применение

блоков *MMCM* (*Mixed-Mode Clock Manager*) интегрированных непосредственно внутри микросхем ПЛИС 7-й серии фирмы *Xilinx*.

Блок MMCM позволяет подстраивать фазы сигналов синхронизации внутри ПЛИС, корректировать значения задержки по фазе в каждом модуле ЦОС индивидуально. Можно подстраивать тактовую частоту «на лету» [3], напрямую или косвенно реализовать динамический сдвиг фазы обрабатываемых сигналов. Это позволяет реализовать каскадное распределение тактовых сигналов, ручные и автоматические режимы точной синхронизации работы модулей ЦОС с экономией вычислительных ресурсов ПЛИС, без использования фильтров Фарроу и т.п. для сдвига фаз сигналов с разрешением не менее 1/8 части периода (зависит от частоты) встроенного генератора управляемого напряжением (ГУН). Например, для частоты ГУН 600 МГц, разрешение по фазе будет порядка 0,03 нс, для частоты 1,6 ГГц примерно 0,011 нс [4].

Общая организация передачи и распределение параметров имитации по вычислительным модулям (в том числе при работе в составе комплекса ПНМ) может быть выполнена по интерфейсу *Ethernet*. При этом возможно применение как своих протоколов информационного обмена, так и стандартных для систем распределенной имитации протоколов высокоуровневой архитектуры *HLA* (*High Level Architecture*, по стандарту *IEEE* 1516 для распределенного моделирование и имитации – технологии обмена данными между тренажерами по локальным или глобальным вычислительным сетям) или *OPC* (*OLE for Process Control*, применяются в *SCADA*-системах) [5].

ПРИМЕР АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

При описании структуры многоканального имитатора было замечено, что каждый модуль ЦОС может реализовать или одноканальную имитацию, или многоканальную. Так на рис. 1 модули ЦОС и приёмопередатчики содержат по 2 выходных сигнала. В предыдущих работах авторского коллектива для реализации одноканальных имитаторов сигналов использовалась заказная плата «Деталь-ЦОС» [6] с применением программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) *Xilinx Virtex*-6, которая работала под управлением одноплатного компьютера СРС805-**01**-С с взаимодействием по интерфейсу *PCI-E* (разъем *StackPC*). Эскиз платы «Деталь-ЦОС» в составе одноплатного компьютера стандарта *EPIC* CPC805-01-C (двухъядерный *CPU Intel Atom N*450 1,66 ГГц, *DDR2 SDRAM* 667 МГц до 2 Гбайт, 2 порта *LAN* 10/100/1000 Мбит и другие интерфейсы [7]) приведен на рис. 2.

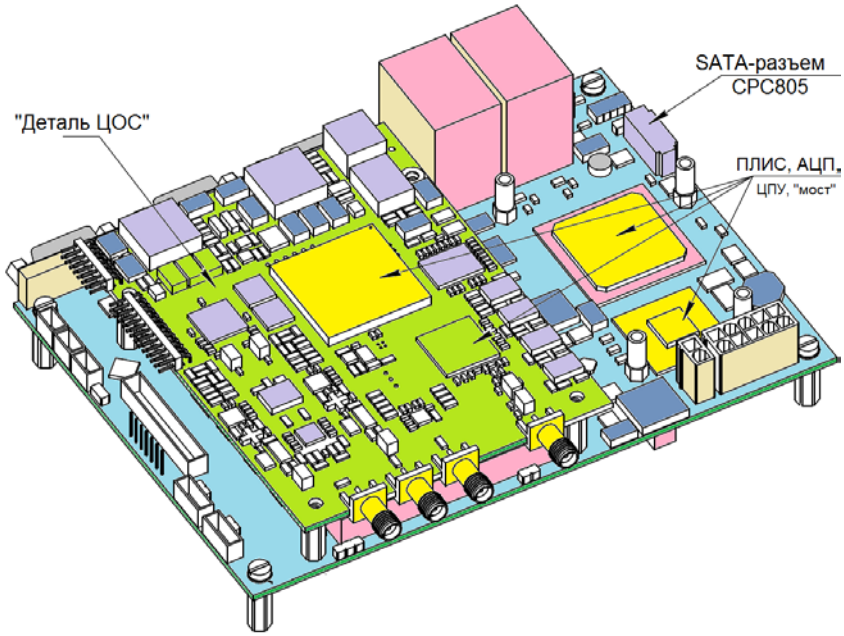


Рисунок 2 - Эскиз платы «Деталь-ЦОС»
в составе одноплатного компьютера СРС805-**01**-С

Преимуществом такой комбинации для устройства имитации сигналов является совмещение типового компьютера (с возможностью установки операционной системы для реализации общего управления и требуемых интерфейсов с комплексом ПНМ) с эффективной цифровой обработкой сигналов. ЦОС на ПЛИС *Xilinx Virtex*-6 является центром устройства «Деталь-ЦОС» и позволяет совершенствовать и дополнять функции ЦОС, включая увеличение числа каналов параллельной обработки сигналов. Два канала цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП), которые изначально были задуманы как сигналы синфазной и квадратурной составляющей сигнала, имитирующего отражение от радиолокационной цели, могут стать сигналами двух независимых составляющих, которые представляют два разных радиоканала «передатчик-радиоканал-

приёмник» для имитации отражений при отличающихся условиях распространения и отражения зондирующего радиосигнала.

Устройство «Деталь-ЦОС» имеет вход тактового сигнала, вход 14-разрядного АЦП ADS5474, два 14-разрядных выхода двухканального ЦАП AD9783, с организацией работы в третьей зоне Найквиста с частотой дискретизации 168 МГц и полосой до 50 МГц [6].

МЕТОДЫ И ЭТАПЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Рассмотрим решение задачи полунатурного моделирования радиосигналов по нескольким приёмным каналам на примере применения существующих аппаратных решений для ввода-вывода и цифровой обработки радиолокационных сигналов бортовой радиовысотомерной системы с непрерывной или импульсной модуляцией. Для этого необходимо реализовать следующие методы и этапы обработки сигналов:

1. Метод формирования отраженного сигнала основывается на использовании технологии цифровой радиочастотной памяти, т.е. непрерывные процессы: оцифровка, программируемая задержка в ОЗУ (обычно это двухпортовая память с организацией кольцевого ***FIFO***-буфера средствами ПЛИС), дополнительное формирование необходимых эффектов (см.далее), синтез аналогового выходного сигнала [8-10].

2. Обычная аналоговая обработка при этом включает перенос вниз по частоте (на промежуточную), фильтрацию, усиление для эффективной работы аналого-цифрового преобразователя (АЦП), восстановление вверх по частоте (на исходную несущую частоту) и ослабление или флуктуации мощности сигнала в случае необходимости.

3. Для имитации эффектов многолучевого распространения и отражения от объектов и земной поверхности необходимо реализовать модель отражения и распространения радиосигналов, подходящую для исследуемой радиосистемы. Реализуемые в режиме реального времени феноменологические модели основаны на учете лучевого распространения сигналов и однократного отражения от ограниченного количества эквивалентных «блестящих» точек объектов (распределенных целей) и земной поверхности. Такие модели позволяют рассчитывать общую импульсную характеристику (ИХ) радиолокационной сцены [10-13]. Т.к. значения коэффициентов ИХ являются комплексными, и зависят от взаимного положения антенн, то для каждого радиоканала «передатчик-радиоканал-приёмник» ИХ рассчитывается индивидуально для каждого периода модуляции.

4. Важно учесть расположение радиосистемы на движущемся летательном аппарате, а значит реализовать индивидуальные задержки, ослабление и доплеровские сдвиги частоты. Эти преобразования выполняются путём расчета свертки зондирующего сигнала с ИХ радиолокационной сцены реализуемой на цифровых фильтрах на ПЛИС.

Для снижения длины ИХ, упрощения расчетов и аппаратной реализации, значение задержки может меняться непрерывно и бездискретно, а среднее значение доплеровского сдвига частоты вносится путём умножения выборок сигнала на квадратурный гармонический сигнал соответствующей частоты, сформированный в ПЛИС генератором цифровых сигналов (методы ***DDS*** или ***CORDIC***) [13, 14].

Таким образом, для проверки бортовых систем необходима имитация высоты и скорости полета, наличие рельефа и объектов на поверхности. Эти параметры для удобства исследований должны быть переменными. Их учет целесообразно выполнять путем расчета коэффициентов импульсной характеристики по математической модели описания геометрии объектов радиолокационной сцены, траектории движения, направления и других характеристик антенн и сигналов проверяемой многоканальной радиосистемы.

Основное преимущество использования такого ретрансляционного принципа имитации заключается в возможности корректного формирования сигналов при произвольных видах модуляции зондирующих радиосигналов, в том числе с переменными или случайными параметрами (крутизна, полоса, период модуляции, фаза и др.). Примеры построения имитатора отраженных сигналов фоноцелевой обстановки для бортовых радиолокаторов непрерывного и импульсного излучения приведены в [10, 13].

Для моностатических ***MIMO*** РЛС отраженные сигналы находятся примерно на одинаковых задержках (для некоторого отражателя и в сравнении с разрешающей способностью сигнала), имеют примерно одинаковое затухание, вызванное дальностью распространения, но отличаются характером флуктуаций амплитуды и фазы, вызванных небольшими отличиями в дальности распространения сигналов, т.к. расстояния между антеннами в моностатических ***MIMO*** порядка нескольких длин волн. На рис. 3 продемонстрирована аппаратная структура цифрового формирующего фильтра (ЦФФ), разработанная на базе ПЛИС модуля «Деталь-ЦОС» с реализацией отличительных характеристик имитации двух радиоканалов.

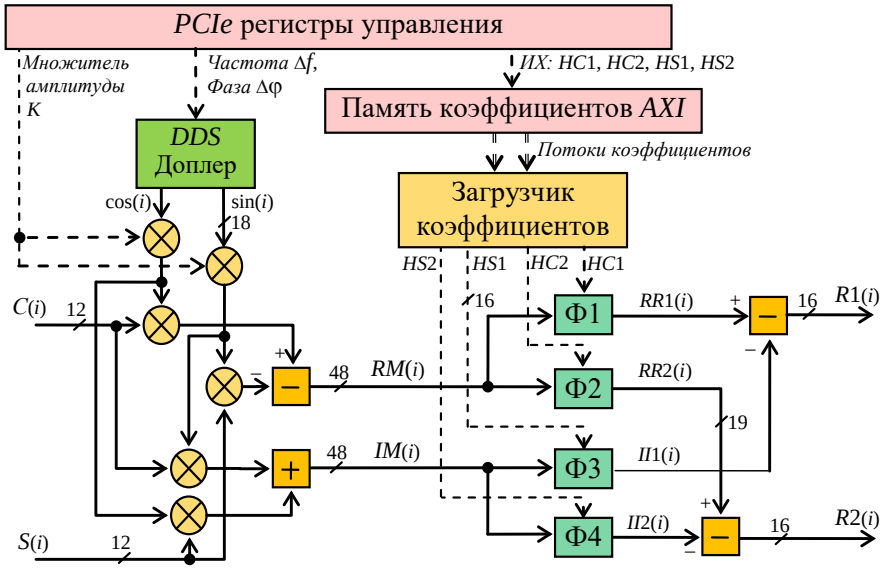


Рисунок 3 - Цифровой формирующий фильтр двухканальной имитации сигналов

Вход ЦФФ – синфазная $C(i)$ и квадратурная $S(i)$ составляющие предварительно задержанного входного сигнала для дискретного времени i с интервалом дискретизации по времени Δt. Разрядность отсчетов входного сигнала 12 бит, что соответствует разрядности использованного АЦП. Каждая составляющая умножается на гармонический комплексный сигнал ($\sin(i)$, $\cos(i)$) с заданной амплитудой K) разрядностью 18 бит для имитации доплеровского смещения на частоту Δf и сдвигом фазы $\Delta\varphi$. Все арифметические операции реализованы посредством блоков ЦОС DSP48E1, обеспечивающих выполнение операций сложения/вычитания и умножения за 1 такт, что позволяет минимизировать величину нежелательной задержки формирования сигналов.

Преобразования, реализуемые блоком на данном этапе, можно описать формулами:

$$RM(i) = C(i)\cdot K\cdot\cos(2\pi\Delta f\ i\Delta t + \Delta\varphi) - S(i)\cdot K\cdot\sin(2\pi\Delta f\ i\Delta t + \Delta\varphi), \quad (1)$$

$$IM(i) = C(i)\cdot K\cdot\sin(2\pi\Delta f\ i\Delta t + \Delta\varphi) + S(i)\cdot K\cdot\cos(2\pi\Delta f\ i\Delta t + \Delta\varphi). \quad (2)$$

Затем полученные реальная и мнимая составляющие $RM(i)$, $IM(i)$ проходят фильтры с конечной импульсной характеристикой, выполняющие операцию свертки сигналов с реальными $HC1$, $HC2$ и мнимыми частями $HS1$, $HS2$ импульсных характеристик ИХ каналов, вычисленными в соответствии с математической моделью формирования имитируемой сцены. Так как требуются только реальные составляющие сигналов, то для каждого канала достаточно двух фильтров. Выходы пар фильтров вычитаются для окончательного формирования выходных сигналов $R1(i)$ $R2(i)$ каждого канала. Преобразования, реализуемые блоком на данном этапе, можно описать формулами:

$$R1(i) = RR1(i) - II1(i) = HC1\otimes RM(i) - HS1\otimes IM(i), \quad (3)$$

$$R2(i) = RR2(i) - II2(i) = HC2\otimes RM(i) - HS2\otimes IM(i), \quad (4)$$

где $\otimes$ – операция свертки, а вычитание соответствует появлению квадрата мнимой единицы.

Свертка реализована посредством *IP*-блока цифрового фильтра *Xilinx LogiCORE FIR Compiler v*5.0 [15]. Каждый фильтр оперирует уникальной ИХ (с 16 коэффициентами в текущей версии), соответствующей реальной или мнимой части ИХ каждого имитируемого радиоканала.

Управление трактом ЦОС со стороны пользователя реализовано по интерфейсу *PCIe*, который на ПЛИС преобразуется в параллельный интерфейс *AXI* [16]. В карте памяти интерфейса *PCIe* выделена область, содержащая регистры управления и контроля параметров ЦОС. Значения этих регистров управляют непосредственно блоками в тракте ЦОС. Например, генератором гармонического квадратурного сигнала доплеровского смещения «*DDS* Доплер» можно управлять, задавая параметры: частоту Δf и инкремент фазы $\Delta\varphi$. Кроме того, можно корректировать амплитуду этого сигнала, управляя аргументом умножителя K на выходе «*DDS* Доплер». Для коэффициентов ИХ выделена отдельная область в карте памяти интерфейса *PCIe* и физический блок двухпортовой памяти *RAM*. Загрузчик коэффициентов ЦФФ, реализованный как цифровой автомат в логике ПЛИС, периодически обновляет коэффициенты блоков фильтров.

Устройство «Деталь ЦОС» позволяет обеспечить до двух каналов обработки одного входного сигнала, чего недостаточно для имитации радиоканалов современных *MIMO* радиосистем с большим числом каналов. Для расширения количества каналов возможно использование нескольких подобных синхронно работающих устройств «Деталь-ЦОС»

и СРС805. Когерентность сигналов, проходящих через тракт ЦОС в рамках одной ПЛИС не вызывает сомнений, однако, когда речь идет о совместной работе нескольких модулей, возникает задача обеспечения их синхронной работы и идентичности параметров имитации, заданных пользователем. Сборка «Деталь ЦОС» и СРС805 имеет в своем составе множество интерфейсов для межмодульного взаимодействия и рассылки актуальных параметров ЦОС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование многоканальных имитаторов радиосигналов позволит исследовать и достигать более высоких показателей надежности отдельных узлов и всей конструкции [17], качества, точности и функциональности для совершенствуемых и вновь разрабатываемых радиосистем.

Анализируя характеристики рассмотренного аппаратного решения можно сделать вывод, что модуль ввода-формирования-вывода сигналов «Деталь-ЦОС» подходит для реализации многоканального имитатора для ***MIMO***-радиосистем, однако характеристики системы имитации будут уступать аналогам, изначально спроектированным для решения задач в многоканальных системах: 2-4 канала для прототипирования связных ***MIMO***-систем и 32-128 каналов для ***Massive MIMO***. Примерами такого оборудования являются программно-определяемое радиоустройство (***SDR***, ***USRP***). Например, ***USRP***-2974 от ***Ettus*** и ***NI*** содержит СВЧ преобразователи для работы с радиосигналами с мгновенной полосой до 160 МГц на частотах до 6 ГГц, имеет тактирующие входы/выходы подключения ***MIMO***-кабеля, возможность синхронизации с помощью ***GPS*** (через формирователь тактовых сигналов ***OctoClock-G***, точность до $0{,}5*10^{-9}$ Гц) и односекундных импульсов (***PPS Trig In/Out***), что позволяет реализовать систему с двумя встроенными полноценными каналами приема-передачи с их ЦОС на ПЛИС ***Xilinx Kintex***-7 взаимодействующих с ***CPU Intel Core i***7, а также позволяет масштабировать количество каналов при синхронном подключении нескольких ***USRP***-2974.

Результаты полунатурного моделирования работы современных радиосистем позволят оценить влияние характеристик многолучевого распространения сигналов на надежность, скорость и помехозащищенность беспроводной передачи информации, на точность оценки радиолокационной обстановки проверяемых бортовых систем локации и связи.

Финансирование: работа выполнена в рамках соглашения с Министерством науки и высшего образования № 075-03-2023-006 (номер темы FEUZ-2023-0015).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Heckel R. Super-resolution MIMO radar. 2016 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), 2016, pp. 1416-1420. DOI: 10.1109/ISIT.2016.7541532.

2. Радиолокационная система MIMO. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.radartutorial.eu/02.basics/rp25.ru.html (проверен 2.03.2024).

3. Коробков М. Синтезируемое VHDL-описание автомата управления динамическим сдвигом фазы примитивы MMCM для ПЛИС 7-й серии фирмы Xilinx. Компоненты и технологии, № 10 2014. С. 65-70.

4. 7 Series FPGAs Clocking Resources. User Guide UG472 (v1.13). Xilinx, 2017. 114 p.

5. Гаммер М. Д. Распределенные имитационные системы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/509504/ (проверен 3.04.2024).

6. Устройство «Деталь-ЦОС». Руководство пользователя. Версия 1.1. РЕШК.468116.013 / ООО «Радиотехнологии», 2013. – 32 с.

7. Fastwell, Модуль процессора СРС805. Руководство по эксплуатации ИМЕС.421459.805 РЭ. Версия 0.5. ЗАО «НПФ «Доломант», Декабрь 2011.

8. Егоров Н., Кочемасов В. Технология цифровой радиочастотной памяти // Электроника. 2016. №10. С. 62-71.

9. Патент РФ №2568899. Имитатор радиолокационной цели при зондировании преимущественно длительными сигналами. Боков А. С., Важенин В. Г., Дядьков Н. А., Мухин В. В., Щербаков Д. Е., Пономарев Л. И. Опубл. в Б. И., 2015. № 32. 10 с.

10. Боков А. С., Важенин В. Г., Гусев А. В., Нагашибаев Д. Ж., Иофин А. А. Учет переменных параметров линейной частотной модуляции в имитаторе отраженных сигналов для радиовысотомеров // Надежность и качество сложных систем. Пенза : ПГУ, 2017. № 3 (19). С. 60-67. URL: https://nikas.pnzgu.ru/nikss9317.

11. Метелёв С. А. Модификация модели Ватерсона ионосферного канала коротковолновой радиосвязи для адаптивного пространственно разнесённого приёма. Известия вузов. Радиофизика: 2012, № 4, Том LV. С. 266-279.

12. Maier D., Moser S., Slomka F. Deterministic Models of the Physical Layer through Signal Simulation / EAI Endorsed Transactions on Wireless Spectrum 2(8), 2015, August 24-26. DOI 10.4108/eai.24-8-2015.2261106.

13. Боков А. С., Важенин В. Г., Иофин А. А., Мухин В. В. Ретрансляционный имитатор сигналов для проверки характеристик бортовых радиолокационных систем и устройств // Надежность и качество сложных систем. 2019. № 3 (27). С. 40–49. DOI: 10.21685/2307-4205-2019-3-5. URL: https://nikas.pnzgu.ru/nikss5319.

14. LogiCORE IP CORDIC v4.0. Product Specification. Xilinx, 2011. 30 p.

15. IP LogiCORE FIR Compiler v5.0. Xilinx, URL: http://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/fir_compiler_ds534.pdf (проверен 3.04.2024).

16. LogiCORE IP AXI Bridge for PCI Express. v1.05a. Product Guide. Xilinx, 2012. 87 p.

17. Иофин А. А., Боков А. С. Конструктивные пути повышения надёжности бортовых радиоэлектронных средств // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза, 2022. Т. 1. 228 с. С. 44–49. eLIBRARY ID: 49433340.

ГЛАВА 6. НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

УДК 621.396.98.004.1

Затучный[1] Д.А., Маслов[2] А.К.

[1,2] Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Аннотация. В данной статье предложен метод информационного обеспечения полётов воздушного судна с использованием беспилотных летательных аппаратов. Предложена схема использования беспилотного летательного аппарата в качестве элемента сети, передающей и обрабатывающей полезную информацию. Предложен критерий для передачи полезной информации для обеспечения безопасности полётов воздушного судна с использованием беспилотного летательного аппарата. Приведена структура информационной системы управления на основе беспилотного летательного аппарата. Сформулирован критерий выбора маршрута беспилотного летательного аппарата с использованием различных факторов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, схема управления, ретранслятор полезной информации, показатель ошибки

Zatuchny[1] D.A., Maslov[2] A.K.

[1,2] Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES TO ENSURE THE SAFETY OF AIRCRAFT FLIGHTS

Annotation. In this article, a method of information support for aircraft flight using unmanned aerial vehicles is proposed. A scheme for using an unmanned aerial vehicle as a network element transmitting and processing useful information is proposed. A criterion for transmitting useful information to ensure the safety of aircraft flights using an unmanned aerial vehicle is proposed. The structure of an information management system based on an unmanned aerial vehicle is presented. The criterion for choosing the route of an unmanned aerial vehicle using various factors is formulated.

Keywords: unmanned aerial vehicle, control circuit, repeater of useful information, error indicator

Введение

Одним из следствий роста технического прогресса является усложнение необходимых для решения задач, в том числе и в гражданской авиации. При этом резко увеличивается физическая и психоэмоциональная нагрузка на конкретного человека (пилота воздушного судна или диспетчера), на которого в настоящее время возложена ответственность за принятие решения, от которого зависит безопасность перевозимых людей и ценных грузов. Одним из направлений решения этой проблемы должен стать переход к автоматизации (хотя бы частичной) процесса обеспечения полёта воздушного судна (ВС). Использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) призвано помочь в решении некоторых задач по обеспечению рационального использования воздушного пространства, а также проведения соответствующего наблюдения для обеспечения экипажа ВС и наземных служб управления воздушным движением достоверной информацией.

Требования к использованию беспилотных летательных аппаратов

Согласно Правилам использования воздушного пространства Российской федерации [1], БЛА определяется как «летательный аппарат, выполняющий полёт без пилота (экипажа) на борту и управляемый в полёте автоматически, оператором с пункта управления или сочетанием указанных способов». Похожее определение существует и в США, где любой летательный аппарат или ВС, не имеющие пилота в виде человека, автоматически считаются БЛА. При этом имеется некая особенность в понимании, что такое есть БЛА с точки зрения Международной организации гражданской авиации. В данной ситуации в основу определения БЛА ставится то обстоятельство, какими правилами использования воздушного пространства регулируется полёт летательного аппарата, а также, какой является цель их использования. Радиоуправляемые модели в отличие от БЛА предназначены в первую очередь для различных развлекающих программ и должны регулироваться местными правилами использования воздушного пространства.

Необходимо отметить и некоторые характеристики БЛА, которые можно использовать для классификации их по типу управления [2]:

1) автоматический способ управления по заданной заранее программе;
2) управление радиокомандами с пункта управления;
3) гибридная схема управления.

В гражданской авиации БЛА используются в основном в следующих направлениях [3]:

1) как дополнительный источник навигационной, геодезической, метеорологической или любой иной необходимой информации (например, поиск потерпевшего аварию ВС);
2) как перевозчик небольших и необходимых грузов, таких как почта, продовольствие и т.д. в труднодоступных и отдаленных районах;
3) как транспортное средство, например, в виде воздушного такси;
4) в качестве составной части сельскохозяйственной авиации.

В качестве бортовой аппаратуры управления, как правило, используются специализированные вычислители на базе цифровых сигнальных процессоров или компьютеры формата PC/104, MicroPC под управлением операционных систем реального времени (QNX, VME, VxWorks, XOberon). Программное обеспечение пишется обычно на языках высокого уровня, таких как Си, Си++, Модула-2, Оберон SA или Ада 95.

Для передачи на пункт управления данных, полученных с бортовых сенсоров, в составе БЛА имеется радиопередатчик, обеспечивающий радиосвязь с наземным приёмным оборудованием. В зависимости от формата изображений и степени их сжатия пропускная способность цифровых радиолиний передачи данных с борта БЛА может составлять единицы-сотни Мбит/с.

В [3] отмечено, что для выполнения задач наблюдения или поиска и определения координат исследуемых объектов БЛА должен иметь следующие составляющие: устройства, способные собирать, обрабатывать и ретранслировать; требуемую информацию; навигационную аппаратуру потребителей, способную принимать сигналы от спутниковой радионавигационной системы; устройства радиосвязи, дающие возможность осуществлять надёжную передачу и приём достоверной информации, а также получение команд из службы управления воздушным движением; бортовую вычислительную систему;

устройства хранения информации.

Схема использования беспилотного летательного аппарата как ретранслятора сигналов

Исходя из вышеизложенного, возникает предложение использовать БЛА в качестве ретранслятора полезной информации для наземных автоматизированных систем управления полётами воздушных судов.

На рис.1. приведён пример такого использования БЛА.

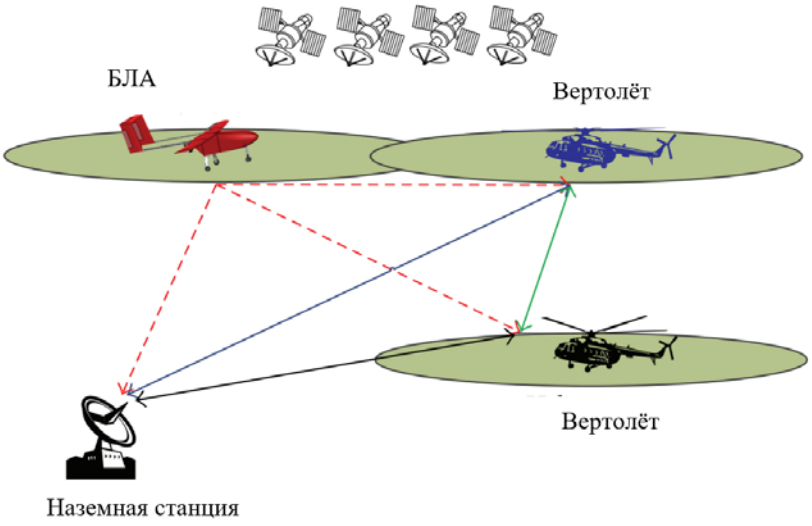


Рисунок 1 - Пример использования БЛА в качестве элемента сети, передающей и обрабатывающей полезную информацию

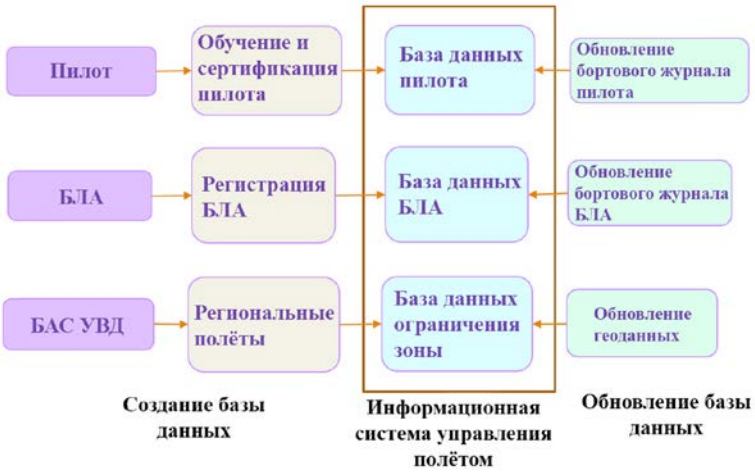


Рисунок 2 - Структура информационной системы управления на основе БЛА БАС УВД – Беспилотная авиационная система управления воздушным движением

Предложим критерий для передачи полезной информации для обеспечения безопасности полётов ВС с использованием БЛА [4]:

$$P \to max,$$
$$V \le 325 \times 10^3 \qquad (1)$$
$$m \le 160$$

P – вероятность безотказной работы аппаратуры, V – объём аппаратуры, m – вес аппаратуры.

На рис. 2. приведено функционирование БЛА с учётом использования информационной системы.

Построение траектории беспилотного летательного аппарата

Предположим, что имеется k факторов, которые в той или иной мере влияют на потери от совершения ошибки при изменении или не изменении траектории БЛА в j-ю точку.

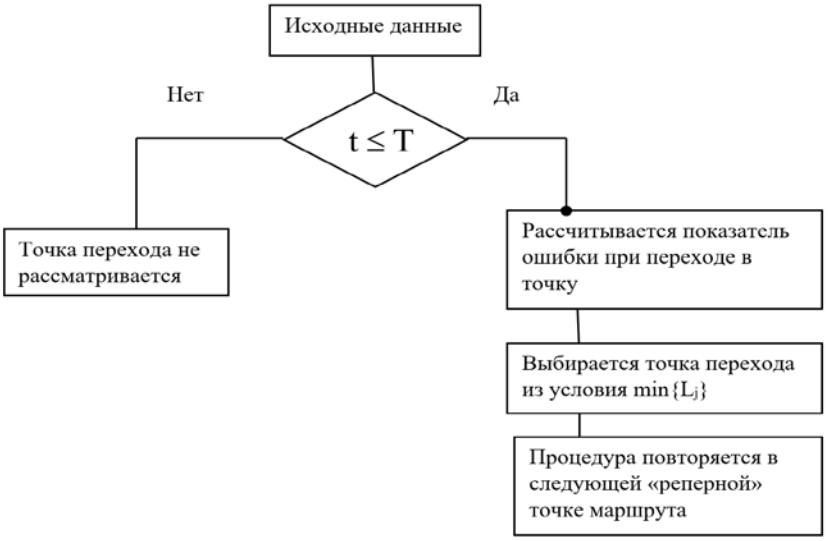


Рисунок 3 - Блок-схема алгоритма выбора траектории БЛА

Тогда показатель ошибки будет определяться следующим образом:

$$L_j = \max\{L_1, \ldots, L_k\},$$

где L_z – показатель потерь относительно z-го фактора ($z=1,\ldots,k$), определяемого следующим образом:

$$L_z = 1, \text{ если } z > Z$$

$$L_z = \frac{z}{Z}, \text{ если } z \le Z$$

Z – это максимально допустимое значение для БЛА относительно z-го фактора, а z – потери относительно z-го фактора .

Представляется возможным сформулировать следующий критерий выбора маршрута БЛА [5,6]: $\min\{L_j\}$,

$$t \le T, \qquad (2)$$

где T – ограничение по времени. Для каждой точки маршрута это значение может меняться.

Если этим условиям удовлетворяет переход в k-ю точку, то наилучшим манёвром является переход БЛА в k-ю точку [6].

Показатели помеховой обстановки могут быть известны заранее, учитывая специфику региона (тропосферные и ионосферные помехи, рельеф местности, интенсивность застройки) или при получении метеорологической информации.

Тем не менее, могут возникнуть и непредсказуемые помехи, например, в случае несанкционированных воздействий. В этом случае может быть сделана рекомендация изменить значение T.

Исходными данными должны являться координаты БЛА и места его посадки, его скорость, данные по помеховой обстановке и метеорологическая информация.

Блок-схема алгоритма приведена на рис. 3.

5. Заключение

В этой статье был рассмотрен метод информационного обеспечения посадки воздушных судов с использованием беспилотных летательных аппаратов.

В статье получены следующие результаты:

Предложен способ использования беспилотных летательных аппаратов в качестве элемента сети, передающей и обрабатывающей полётную информацию;

Предложен критерий для передачи полезной информации для обеспечения безопасности полётов воздушных судов с использованием беспилотных летательных аппаратов;

Сформулирован критерий выбора маршрута беспилотного летательного аппарата с учётом различных факторов;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 N 138 (ред. от 12.07.2016) «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации».

2. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации: Авиационная электросвязь (Том 1). - Международная организация гражданской авиации, 2006.

3. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. Под ред.: М.Н. Красильщикова, Г.Г. Серебрякова. – М., ФИЗМАТЛИТ, 2009.

4. Завалишин О.И., Затучный Д.А. Методы повышения помехоустойчивости навигационных систем воздушных судов гражданской авиации. - Информационно-аналитический журнал «Радиоэлектронные технологии», №2/ 2019 (21), Стр. 70-74.

5. Затучный Д.А. Метод повышения помехоустойчивости пилотажно-навигационных комплексов воздушных судов гражданской авиации на основе комплексного использования различных бортовых систем. - Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество», Пенза, 2019, Том 1, стр. 23-26.

6. Затучный Д.А., Ребров Е.Д. Моделирование траектории полёта беспилотного летательного аппарата с учётом возможных навигационных помех искусственного и естественного происхождения. - Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество», Пенза, 2021, Том 1, стр. 128-131.

УДК 517.958

Козлов[1] А.С., Торчигин[2] В.П.

[1,2] Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» российской академии наук, Москва, Россия

[1] kozlov@isa.ru

[2] v_torchigin@mail.ru

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОПТИКО-ИНДУЦИРУЕМЫХ СИЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАКОНОВ ЛОРЕНЦА

Аннотация. Надежность результатов при вычислении оптико-индуцируемых сил на основе известных подходов с использованием сил Лоренца важна при взаимодействии света с веществом. Рассматриваются проблемы наладки модулей телекоммуникационных систем на основе автоматизированной системы оптического считывания топологии специализированным процессором с использованием фундаментальных законов геометрической оптики и стохастической теории подобия.

Ключевые слова: телекоммуникационные системы, сетевые информационные технологии, стохастическая теория подобия, момент света в оптической среде, подход Минковского, подход Абрагама, сила Лоренца

Kozlov[1] A.S., Torchigin[2] V.P.

[1,2] Federal Research Center "Computer Science and Management" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[1] kozlov@isa.ru

[2] v_torchigin@mail.ru

ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF CALCULATION OF OPTICALLY-INDUCED FORCES USING LORENTZ'S LAWS

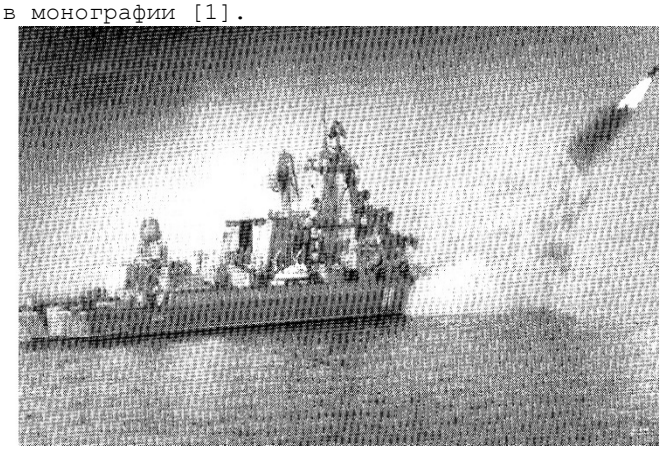
Annotation. The reliability of the results when calculating optically induced forces based on known approaches using Lorentz forces is important where the interaction of light with matter takes place. The problems of setting up telecommunication system modules based on an automated optical topology reading system by a specialized processor are considered, based on the fundamental laws of geometric optics and stochastic similarity theory.

Keywords: telecommunication systems, network information technologies, stochastic theory of similarity, momentum of light in an optical medium, Minkowski approach, Abraham approach, Lorentz force

Введение

Вопросы равновесия, надежности, динамики, представляются как некоторые функции, характеризующие процессы, описываемые дифференциальными уравнениями. Далее с использованием физических законов и с помощью математических операций решаются проблемы надежности и устойчивости телекоммуникационной динамической системы.

В исследовании данных процессов применимы модели и алгоритмы стохастической теории подобия, например, запуск и управление морскими крылатыми ракетами, подробно описанной в монографии [1].



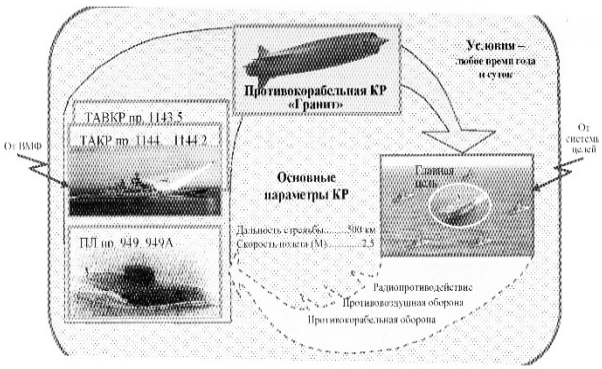


Рисунок 1 - Схема организации оптического сигнала при пуске крылатых ракет

Определение цели в точке p по оси x при величине угла Q будет соответствовать плотности распределения Коши:

$$P(x) = \frac{1}{\pi t g^2 Q + 1} \qquad (1)$$

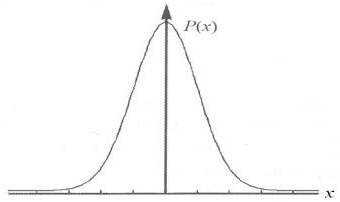


Рисунок 2 - Плотность распределения сигнала

Положение точки p устойчивого равновесия в пространстве определяется критерием качества задачи [2]. Для решения оптимального управления динамической системой воспользуемся методом символической регрессии с помощью эволюционных алгоритмов, описанной в статье [3].

Как уже было отмечено в предыдущих работах [4] качество связи должно быть исследовано теоретически с точки зрения прохождения и помехоустойчивости оптического сигнала. Известно, что оптико-индуцируемые силы чрезвычайно малы и требуются значительные усилия для экспериментального определения их величины. Это обстоятельство привело к тому, что даже в настоящее время нет общепринятых формул для их вычисления. Наиболее достоверные результаты могут быть получены при непосредственном использовании второго закона Ньютона, который содержит определение силы, действующей на объект, как производную по времени от момента этого объекта. Однако в настоящее время для величины момента света в оптической среде отсутствует общепринятое представление. Более века ведутся дебаты относительно величины этого момента между сторонниками подхода Минковского, в соответствии с которым момент света в оптической среде увеличивается в n раз, где n – показатель преломления оптической среды, и подходом Абрахама, в соответствии с которым момент света уменьшается в n раз. Существует мнение, что оба подхода справедливы, но в различных ситуациях. Однако неизвестно указаний на то, в каких ситуациях следует использовать тот или иной подход. Имеется компромиссное предложение, что момент света в оптической среде равен средне арифметическому этих подходов, то есть равен $(n+1/n)/2$ [5].

Чтобы иметь достоверные результаты о величине сил, создаваемых светом в оптической среде, был предложен альтернативный подход, при котором, зная амплитуды электрического и магнитного полей в конкретном случае, можно вычислить создаваемые этими полями силы, используя при этом закон Лоренца. Хотя при этом требуются дополнительные усилия для определения амплитуд этих полей, однако в этом случае нет необходимости ссылаться на момент света.

Впервые такие формулы для вычисления сил в общем случае, когда электрические и магнитные поля изменяются во времени, были предложены А. Эйнштейном и Дж. Лаубом в 1908 году [3]. В 1973 году были предложены формулы для частного случая, когда переменные магнитные и электрические поля создаются электромагнитной волной [4]. С тех пор опубликовано сотни статей с использованием этого подхода. При этом некоторые авторы особо указывают, что они использовали этот подход, неявно давая понять, что они не доверяют подходу, основанному на анализе изменения момента света.

Со временем стало известно несколько других формул для вычисления величины этих сил, Сравнение этих формул приведено в [6]. Однако вывод о том, какая из известных формул правильная и имеется ли таковая среди них, отсутствует. В заключение указано, что требуется дальнейший анализ, чтобы выявить правильные формулы, которые могли бы точно предсказывать измеряемые параметры. Таким образом, в настоящее время невозможно получить достоверные результаты и при подходе на основе использования сил Лоренца.

Существует еще один подход, которым с успехом пользовался А. Эйнштейн. Подход основан на анализе мысленных экспериментов, для которых заранее известен результат. Для конкретного случая сил, действующих со стороны света на оптическую среду, подход состоит в том, что рассматривается ситуация с известным результатом.

Имеется более десятка различных экспериментов, основанных на общепринятых законах физики и оптики, из которых следует, что момент света в оптической среде увеличивается, а n раз [7]. Различные опыты основаны на различных общеизвестных законах, но все они дают один и тот же результат. Поэтому вековой спор о величине момента в оптической среде теряет смысл и следует признать, что прав Минковский и момент света в оптической среде увеличивается в n раз. Этот факт используется при дальнейшем рассмотрении.

Вычисление оптико-индуцируемых сил на основе изменения момента света

Рассмотрим результаты расчета сил, в простейшем частном случае, когда электромагнитная волна распространяется в свободном пространстве вдоль z – оси и падает на плоскую границу оптической среды, параллельную плоскости xy.

Пусть поток плотности энергии падающей волны равен W_0c, где W_0 плотность энергии в волне. В соответствии с законом Френеля отраженная часть определяется выражением

$$R = W_0 c\left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2 \quad (2)$$

Прошедшая в оптическую среду часть волны определяется выражением

$$T = W_0 c\left[1 - \left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2\right] = W_0 c\frac{4n}{(1+n)^2} \quad (3)$$

Переходя от потока плотности энергии к потоку плотности момента (ППМ), который представляет собой вектор, направленный вдоль распространения волны, получим, что ППМ падающей волны равен W_0, ППМ отраженной волны определяется выражением

$$-W_0\left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2, \quad (4)$$

а ППМ волны, прошедшей в оптическую среду, определяется выражением

$$W_0\frac{4n}{(1+n)^2}n. \quad (5)$$

Здесь появление дополнительного множителя n связано с тем обстоятельством, что ППМ в оптической среде увеличивается в n раз.

Из второго и третьего законов Ньютона следует, что давление, производимое на любой объект равно разности между входящими и выходящими ППМ. Тогда

$$P = W_0 - W_0\left[-\left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2 + \frac{4n^2}{(1+n)^2}\right] \quad (6)$$

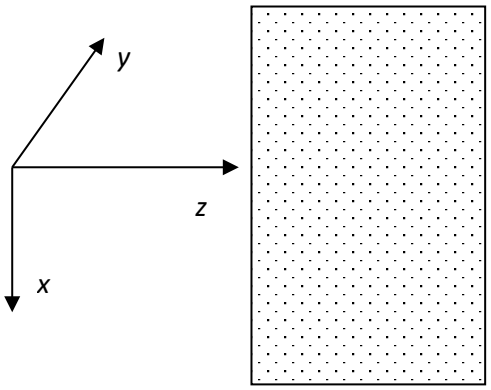


Рисунок 3 - Плоская граница между свободным пространством и оптической средой

После простых преобразований получим

$$P = W_0[\frac{2n^2+2}{(1+n)^2} - \frac{4n^2}{(1+n)^2}] = W_0\frac{-2n^2+2}{(1+n)^2} = -2W_0\frac{n^2-1}{(1+n)^2} = -2W_0\frac{n-1}{n+1} \qquad (7)$$

Знак минус в (7) свидетельствует о том, что давление направлено в сторону, противоположную z - оси. Выражение (7) получено Томсоном в 1904 году.

Силы, создаваемые электромагнитной волной в неоднородной оптической среде

Рассмотрим сначала частный случай, когда свет представляет собой непрерывную волну, усредненная плотность энергии которой в свободном пространстве равна W_0.

Пусть полна распространяется в неоднородной оптической среде, обобщенный показатель преломления которой равен отношению скорости волны в свободном пространстве к скорости волны в оптической среде, определяется выражением

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu} \qquad (8)$$

Так как плотность энергии света W в оптической среде обратно пропорциональна его скорости, то в соответствии с (8)

$$W = W_0\sqrt{\varepsilon\mu} \qquad (9)$$

В соответствии с общепринятыми законами физики и оптики момент света в оптической среде увеличивается в n раз по сравнению с моментом того же света в свободном пространстве

Тогда момент света p в оптической среде определяется выражением

$$p = e\frac{E}{c}\sqrt{\varepsilon\mu} \qquad (10)$$

где E – энергия света, $\mathbf{e}$ – единичный вектор, направленный вдоль распространения света.

Сила, действующая на свет, в соответствии со вторым законом Ньютона определяется выражением

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{E}{c}\frac{d(e\sqrt{\varepsilon\mu})}{dt} + \frac{e\sqrt{\varepsilon\mu}}{c}\frac{dE}{dt} \qquad (11)$$

В случае непрерывной волны постоянной интенсивности второе слагаемое равно нулю, а в первом слагаемом ε и μ явно не зависят от времени. Переходя к плотности силы f, и плотности энергии света в оптической среде W, выражение (11) преобразуется к виду

$$f = \frac{W}{c}\frac{d(e\sqrt{\varepsilon\mu})}{dt} \qquad (12)$$

При этом плотность сил в (12), может быть представлена в виде

$$f = \frac{W_0\sqrt{\varepsilon\mu}}{c}\frac{d(e\sqrt{\varepsilon\mu})}{dl}\frac{dl}{dt} = \frac{W_0\sqrt{\varepsilon\mu}}{c}\frac{d(e\sqrt{\varepsilon\mu})}{dl}\frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = W_0\frac{d(e\sqrt{\varepsilon\mu})}{dl} \qquad (13)$$

где dl - элемент расстояния вдоль траектории

Из геометрической оптики известно, что траектория распространения света в неоднородной оптической среде определяется выражением

$$grad(n) = \frac{d}{dl}(ne) \qquad (14)$$

Здесь, n показатель преломления оптической среды, равный отношению скорости света в свободном пространстве к скорости света в оптической среде.

Тогда из (8), (13), (14) имеем

$$f = W_0 grad(\sqrt{\varepsilon\mu}) \qquad (1)$$

Таким образом, сила в единице объема, действующая на свет, не зависит от направления его распространения и всегда параллельна градиенту от обобщенного показателя преломления.

Так как плотности энергий электрического и магнитного полей в электромагнитной волне одинаковы, (13) может быть представлено в виде

$$f = \frac{W_0}{2}\frac{\mu grad(\varepsilon)+\varepsilon grad(\mu)}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{W_0}{2}\sqrt{\varepsilon\mu}(\frac{grad(\mu)}{\mu} + \frac{grad(\varepsilon)}{\varepsilon}) = \frac{W_E+W_H}{2}(\frac{grad(\mu)}{\mu} + \frac{grad(\varepsilon)}{\varepsilon}) = W_E\frac{grad(\varepsilon)}{\varepsilon} + W_H\frac{grad(\mu)}{\mu} \qquad (26)$$

где W_E и W_H усредненные по времени плотности энергий электрического и магнитного полей в оптической среде, соответственно.

Эти плотности определяются выражениями

$$W_E = \varepsilon_0\varepsilon\frac{E^2}{4}, \qquad (17)$$

$$W_H = \mu_0\mu\frac{H^2}{4} \qquad . \qquad (18)$$

где E и H – амплитуды электрического и магнитного полей, соответственно. Тогда (10) может быть представлено в виде

$$f = \varepsilon_0 grad(\varepsilon)\frac{E^2}{4} + \mu_0 grad(\mu)\frac{H^2}{4} \qquad (19)$$

Имея в виду третий закон Ньютона и переходя от сил (19), действующих на свет, к силам, действующим на оптическую среду, получим, что на оптическую среду действуют следующие силы

$$f = -\varepsilon_0 grad(\varepsilon)\frac{E^2}{4} - \mu_0 grad(\mu)\frac{H^2}{4} \quad (20)$$

Этот же результат может быть получен другим способом. Из электростатики и магнитостатики известно, что в статических электрические и магнитных полях силы, действующие на диэлектрик определяются выражением [8]

$$f = -\varepsilon_0 grad(\varepsilon)\frac{E_S^2}{2} - \mu_0 grad(\mu)\frac{H_S^2}{2} \quad (21)$$

где E_S и H_S – напряженности электрического и магнитного полей, соответственно.

Усредняя (21) по времени, получим (20).

Таким образом, из предположения, что момент света в оптической среде увеличивается в $\sqrt{\varepsilon\mu}$ раз, следует то же выражение (20), что из законов электростатики и магнитостатики, используемых для вычисления сил в переменных электрических и магнитных полях. Таким образом природа сил, возбуждаемых электромагнитной волной, и природа сил, возбуждаемых постоянными электрическими и магнитными полями, одна и та же. Примером сил, действующих на диэлектрик в электрическом поле, являются силы, которые действуют на кусочки бумаги в электрическом поле, создаваемом наэлектризованной расческой. Примером сил, действующих на диэлектрик с μ>1 в магнитном поле, являются силы, действующие на железные опилки в поле постоянного магнита.

Вычисление оптико-индуцируемых сил на основе законов электростатики

Определим давления в рассматриваемом частном случае. Так как напряженность электрического поля на границе оптической среды непрерывна, то напряженность на границе электрического поля создается суммой напряженностей падающей и отраженной волн и определяется выражением

$$E_B = E_0(1 + \frac{1-n}{1+n}) = E_0(\frac{2}{1+n}) \quad (22)$$

В соответствии с (19) плотность сил на границе оптической среды, усредненная по периоду колебаний, равна

$$f = -\varepsilon_0 grad(\varepsilon)\frac{E_B^2}{4} = -\varepsilon_0 grad(\varepsilon)\frac{E_0^2}{(1+n)^2} \quad (23)$$

В рассматриваемом случае имеет место резкое изменение ε на границе между свободным пространством и оптической средой. В этом случае плотность силы заменяется давлением **P**, а grad(ε) заменяется разностью (ε-1). Тогда (23) преобразуется к виду

$$P = -\varepsilon_0(\varepsilon - 1)\frac{E_0^2}{(1+n)^2} = -\varepsilon_0(n^2 - 1)\frac{E_0^2}{(1+n)^2} = \varepsilon_0 E_0^2\frac{1-n}{1+n} \quad (24)$$

Плотность энергии W электромагнитной волны в свободном пространстве определяется соотношениями

$$W_{00} = W_{E0} + W_{H0} = \varepsilon_0\frac{E_0^2}{2} + \mu_0\frac{H_0^2}{2} \quad (25)$$

Так как плотности электрической и магнитной энергии в электромагнитной волне одинаковы, (25) может быть представлено в виде

$$W_{00} = 2W_{E0} = \varepsilon_0 E_0^2 \quad (26)$$

плотность энергии, усредненная по периоду колебаний равна

$$W_0 = \varepsilon_0 E_0^2/2 \quad (27)$$

Из (24) и (25) следует (7). Таким образом, давление, вычисленное на основе подхода, где используются типы сил, известные в электростатике и магнитостатике в соответствии с (21), дает точно такой же результат, что и вычисление давления в предположении, что момент света в оптической среде возрастает в n раз.

Вычисление оптико-индуцируемых сил при использовании подхода, основанного на силах Лоренца

Впервые формула для расчета сил в переменных электрических и магнитных полях была предложена А. Эйнштейном и Дж. Лаубом в 1908 году. Формула имеет следующий вид [6,7].

$$f = (P\nabla)E + [\frac{dP}{dt} \times \mu_0 H] + (M\nabla)H + [\varepsilon_0 E \times \frac{dM}{dt}] \quad (28)$$

Здесь E и H векторы напряженности электрического и магнитного поля, соответственно. P и M – векторы поляризации и намагничивания оптической среды, определяемые выражениями

$$P = \varepsilon_0(\varepsilon - 1)E \quad (29)$$

$$M = \mu_0(\mu - 1)H \quad (30)$$

В настоящее время рассматриваются две альтернативы. Одна из них используется в работе [8], где плотность сил в рассматриваемом частном случае определяется (27). В работе [6] плотность сил представлена в виде

$$f = -(\nabla P)E + [\frac{dP}{dt} \times \mu_0 H] \quad (31)$$

В рассмотренном выше частном случае на рис.3 векторы электрического и магнитного полей параллельны плоскости падения. С учетом (29) и (30) из (28) следует, что составляющая силы вдоль направления распространения волны, описываемая первым и третьим членами в (28), равна нулю. Так как векторы E и H в падающей волне синфазны, то усредненные по времени второй и четвертый члены в (28) равны нулю. Действительно, фаза dP/dt сдвинута на π/2 относительно фазы H. Усреднение по времени таких колебаний равно нулю.

Таким образом, составляющая силы вдоль направления распространения волны, описываемая (28) равна нулю [8]. Это противоречит результатам, полученным выше Таким образом, формулы (28), (31) дают неверный результат в простейшем случае.

Тот же вывод следует из (7), которое определяет величину отрицательного давления, направленного от поверхности оптической среды.

Заметим, что если в (5) вместо множителя n, характеризующего увеличение момента в оптической среде, поставить множитель $(n+1/n)/2$ согласно [9], то результирующее давление окажется равным нулю. Таким образом, автор [10] действительно считает, что давление при нормальной падении электромагнитной волны на диэлектрик равно нулю.

Для практических измерений надежности и устойчивости прохождения оптических сигналов телекоммуникационной динамической системы разработана и используется установка УК-1. Данные установки применяются на предприятиях электронной промышленности и в экспериментальных лабораторных исследованиях. В результате получены осциллограммы, подтверждающие теоретические выводы данной статьи.

Внешний вид установки показан на рис.4



Рисунок 4 - Установка контроля УК-1

Заключение

Приведены результаты расчета величины оптико индуцируемых сил для простейшего случае двумя различными способами Первый способ основан на законах Ньютона и и связан с анализом изменения момента света при взаимодействии с оптической средой в предположении, что момент света в оптической среде возрастает в n раз. Второй способ для вычисления сил в переменных электрических и магнитных полях электромагнитной волны основан на использовании уравнений электростатики и магнитостатики. Показано, что оба способа дают одинаковый результат. Более того, показано, что из уравнений, используемых в первом способе непосредственно следуют уравнения для сил в электростатике и магнитостатике.

Для подтверждения теоретических расчетов проведены испытания с применением установки УК-1. Предполагается результаты использовать для проектирования и анализа помехоустойчивости оптических сигналов электронных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Северцев Н.А. Статистическая теория подобия в задачах безопасности и надежности М.: Радиотехника, 2016, с.356,398

2. Северцев Н.А., Юрков Н.К., Васюнин Д.В. Безопасность сложных динамических систем на фоне внешних воздействий // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2023, т.1, с.113

3. Дивеев А.И., Софронова Е.А. Качественное решение задачи оптимального управления группой динамических объектов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2023, т.1, с.209

4. Козлов А.С. Вопросы надежности данных в сетях передачи информации // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2023, т.1, с.232-235

5. Mansuripur M. Resolution of the Abraham-Minkowski controversy. Opt. Comm. 2010, v. 283, p. 1997.

6. Mansuripur M. On the Foundational Equations of the Classical Theory of Electrodynamics, Resonance, Feb. 2013, p.130

7. Torchigin V.P. Dozen arguments in favor of the Minkowski form of the momentum of light in matter Optik 2020, v.218, p. 164986

8. Torchigin V.P., Torchigin A.V. Comment on “Theoretical analysis of the force on the end face of a nanofilament exerted by an outgoing light pulse” PRA 2014 v.89 no.5, p.057801

9. Brevik I. Comment on “Observation of a Push Force on the End Face of a Nanometer Silica Filament Exerted by Outgoing Light, Phys. Rev. Lett. 2009 p. 219301

10. Brevik I. and Ellingsen S. Detection of the Abraham force using Whispering Gallery Modes, Phys. Rev. A 2012 p.025801.

УДК 004.9:621.6

Tran Minh Hai
Penza State University, Penza, Russia
minhhai.kq80@gmail.com

NEURO-FUZZY APPROACH TO THE PROBLEM OF IDENTIFICATION AND CORRECTION OF EXPERIMENTAL UAV MODELS RESISTANT TO MULTI-FACTOR UNCERTAINTY

Annotation. The article presents the formulation and solution of the problem of identification and correction of an experimental model of an unmanned aerial vehicle (UAV), resistant to multi-factor uncertainty based on the selection of rational (optimal) design solutions (parameters) of the unmanned aerial vehicle using fuzzy logic methods. This solution is implemented using neural network optimization of design solutions in terms of fuzzy logic and fuzzy inference and makes it possible to increase the efficiency of statistical assessments of the completeness of the aerodynamic characteristics of a unmanned aerial vehicle under conditions of environmental uncertainty based on experimental data.

Keywords: neuro-fuzzy approach, UAV, experimental model, design solution, multifactor uncertainty, identification, multicriteria optimization

Чан Мин Хай
Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
minhhai.kq80@gmail.com

НЕЙРО-НЕЧЕТКИЙ ПОДХОД К ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОРРЕКЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, УСТОЙЧИВЫХ К МНОГОФАКТОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Аннотация. В статье представлена постановка и решение задачи идентификации и коррекции экспериментальной модели беспилотного летательного аппарата (БПЛА), устойчивой к многофакторной неопределенности, на основе выбора рациональных (оптимальных) конструктивных решений (параметров) беспилотного летательного аппарата с использованием методов нечеткой логики. Данное решение реализовано с использованием нейросетевой оптимизации проектных решений в терминах нечеткой логики и нечеткого логического вывода и позволяет повысить эффективность статистических оценок полноты аэродинамических характеристик беспилотного летательного аппарата в условиях неопределенности окружающей среды на основе экспериментальных данных.

Ключевые слова: нейро-нечеткий подход, беспилотный летательный аппарат, экспериментальная модель, проектное решение, многофакторная неопределенность, идентификация, многокритериальная оптимизация

Introduction

In practice, the use of UAVs has determined that the operation of a UAV is accompanied by the influence of uncontrollable factors on it, i.e. The UAV operates under conditions of multifactorial uncertainty [1-3]. The range of uncertainty factors may itself be uncertain. In such cases, to solve multicriteria optimization problems, the apparatus of convolution of uncontrolled factors is used. The self-nature of uncontrollable factors may be non-stochastic, but obey more general statistical laws. In such a situation, it is necessary to use a more general apparatus associated with concepts such as fuzzy set, fuzzy logic, linguistic variables, fuzzy inference, etc. The apparatus of fuzzy sets makes it possible to largely justify the description of uncontrollable factors and, even more so, to choose rational (optimal) design solutions (parameters).

One of the main and important operations in fuzziness procedures is the construction of a membership function [4-6]. A neural network allows you to generate almost any membership function, in accordance with the requirements of the problem of making design decisions (parameters).

Neuro-fuzzy multicriteria optimization of UAV design parameters when identifying and correcting their experimental model, resistant to multifactorial uncertainty

A neuro-fuzzy system can be divided into two parts: a fuzzy inference apparatus, which is mainly intended for preparing initial statistical data, and the neural network itself, where UAV modeling and optimization of design solutions are carried out.

Neural network optimization is carried out using the inverse method, the application scheme of which on a neural network is presented for a function of one variable $y = f(t)$.

Sets the initial volume sample ΔT: $t = t_i,\ y = y_i = f(t_i),\ i = \overline{1,N}$. Next, using the inversion operation, an inverse sample is constructed (essentially, this is only a rough approximation of the inverse sample, depending on the size of the original sample): $y = y_i = f(t_i),\ t = t_i,\ i = \overline{1,N}$. Using the reverse sample, the neural network is trained, as a result of which a functional connection is formed, not explicitly. $t = f^{-1}(y)$. In computational mode, the “what ... if” window displays the values of the function y and the argument t [13].

Next, an iterative process of the form [7-9]

$$y_i = y_{i-1} - \Delta y_{i-1} \ , \qquad (1)$$

where i is the iteration number, with the output of the argument value t_i.

Iterations stop if further reduction in y becomes impossible, about which a special message is numbered in the neural network.

To increase the accuracy of the answer, after stopping iterations, iterations are carried out in the opposite direction, but with a smaller step [8-10].

$$y_i = y_{i-1} + \Delta y_{i-1}/k; \quad k > 1, \tag{2}$$

where k is the method parameter.

Steps (1) and (2) alternate until the required value accuracy is achieved. In this case, the value of parameter k when moving from (2) to (1) and from (1) to (2) consistently increases. This was a description of the neural network implementation of the inverse method.

Multicriteria optimization problem (MCO) based on the neuro-fuzzy preference function of the decision maker

A vector function is given $F(X) = \left(F_1(X),\dots,F_r(X)\right)$, which is defined on the set of valid values (set of alternatives) D_X vector of variable parameters X.

It is required to find an alternative that minimizes all components of the vector function $F(X)$, т.е. $F_1(X),\dots,F_r(X)$ - partial optimality criteria.

To solve this problem, direct adaptive methods are used [19]. In these cases, the decision maker directly evaluates the alternatives proposed by the MCO system. It is assumed that there is a "decision maker's preference function" $\psi(X)$, which is defined on D_X and maps to the set of real numbers R.

Then the MKO problem is reduced to the problem of choosing a vector $X' \in D_X$ such that:

$$\max_X \psi(X) = \psi(X'),\ X \in D_X. \tag{11}$$

To solve this problem, neural networks are used to approximate the preference function $\psi(X)$ [11-13]

The preference function is approximated based on the neuro-fuzzy inference ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) [13-15].

ANFIS is the functional equivalent of the Sugeno fuzzy inference model:

$$R_j: If\ x_1\ is\ A_1\ And\ x_2\ is\ A_2\ And\ \dots\ x_r\ is\ A_r\ ,$$
$$Then\ y = f_j = f(x_1\ ,\ x_2\ ,\ \dots\ x_r), \quad \forall j, \tag{12}$$

where $x_i,\ i = \overline{1,r}$ –are the input variables; $A_i,\ i = \overline{1,r}$ –fuzzy sets; $y = f_j$ –linear function of output variables; j –number of fuzzy rules in the system.

The set of admissible values of the vector X is a bounded and closed set $D_X = P \cap D;\quad P = \left\{X | x_i^- \le x_i \le x_i^+, i = \overline{1,n}\right\} \in R^n -$ technological parallelepiped of permissible values of the parameter vector;

The set D is formed by limiting functions $g_j(x),\quad D = \left\{X | g_j(x) \ge 0, j = \overline{1,r}\right\} \in R^n$. The decision maker minimizes by D_X each of the particular optimality criteria $F_1(X),\dots,F_r(X)$:

$$\min_X F(X) = F(X^*),\ X \in D_X. \tag{13}$$

It is assumed that all partial optimality criteria are normalized, that is$F_i(X) \in [0,1],\ i = \overline{1,r}$.

Let us denote $\phi(X,\Lambda)$the operation of convolution of partial optimality criteria, where $\Lambda \in D_\Lambda \subset R^r$ –is the vector of weighting factors; $D_\Lambda = \left\{\lambda_i \middle| \lambda_i \ge 0,\ \sum_i \lambda_i = 1,\ i = \overline{1,r}\right\}-$ set of admissible vector values Λ.

Then problem (13) is reduced to a single-criteria global conditional optimization problem in the form

$$\min_X \phi(X,\Lambda) = \phi(X^*,\Lambda), \quad X \in D_X. \tag{14}$$

Let us denote D_F –the criterion set (reachability set) of this problem: $D_X \to D_F;\quad \psi: \Lambda \to R$. Then problem (13) reduces to the problem of choosing the vector $\Lambda^* \in D_\Lambda$:

$$\max_\Lambda \psi(\Lambda) = \psi(\Lambda^*), \quad \Lambda \in D_\Lambda. \tag{15}$$

Wherein ψ it is considered a linguistic variable and the MCE problem is reduced to the problem of finding the vector $\Lambda^* \in D_\Lambda$, providing the maximum value of the discrete function $\psi(\Lambda)$ in the form of:

$$\max_\Lambda \psi(\Lambda) = \psi(\Lambda^*) = \psi^*, \quad \Lambda \in D_\Lambda. \tag{16}$$

The solution to the problem consists of the following stages:

Acceleration stage. The MKO system randomly sequentially generates k vectors $\Lambda_1,\Lambda_2,\dots,\Lambda_k$ and for each of these vectors operations are carried out:

$$1.\ \max_X \phi(X,\Lambda_i) = \phi(X_i^*,\Lambda_i),\ X \in D_X,\ i = \overline{1,k}; \tag{17}$$

2. The solution $X_i^*$and values of all partial optimality criteria are obtained

$$F_1(X_i^*),\dots,F_r(X_i^*).$$

3. The decision maker evaluates these values and enters the value of the preference function into the MKO system $\psi(\Lambda_i)$.

Stage 1. Based on the obtained values $\Lambda_1,\Lambda_2,\dots,\Lambda_k$ и $\psi(\Lambda_1),\psi(\Lambda_2),\dots,\psi(\Lambda_k)$. The MKO system carries out the following operations:

- Build a function $\psi_i(\Lambda)$, which approximates $\psi(\Lambda)$the function in a neighborhood of points $\Lambda_1,\Lambda_2,\dots,\Lambda_k$;
- Find the maximum of a function $\psi_i(\Lambda)$: $\max_\Lambda \psi_i(\Lambda) = \psi(\Lambda_i^*),\ \Lambda \in D_\Lambda$;
- With the value Λ_i^*we solve problem (5) and find $\max_X \phi(X,\Lambda_i^*) = \phi(X^*,\Lambda_i^*)$, hence the values of the partial optimality criteria $F_i(X^*),\ i = \overline{1,r}$. and the value of the preference function $\psi(\Lambda_i^*)$.

Stage 2. The MKO system approximates the function $\psi_1(\Lambda)$ in the vicinity of points

$\Lambda_1, \Lambda_2, \ldots, \Lambda_k, \Lambda_i^*$ and builds the function $\psi_2(\Lambda)$ according to the scheme of stage 1 until the decision maker decides to stop the calculations.

Setting the membership function parameters.

Model fine-tuning $\psi(\Lambda)$ (parametric model identification) consists of adjusting the parameters of membership functions based on the training set using neural networks (Figure 3).

Figure 1 shows:

- neurons of the 1st layer (1) represent terms of input variables (values of membership functions $\mu_i(\lambda_j)$, $i, j = 1,2$.
- neurons of the 2nd layer (2) play the role of antecedents (premises) of fuzzy rules.
- neurons of the 3rd layer (3) are designed to normalize the degree of implementation of the rules: $\bar{w}_i = w_i / \sum_i w_i$.
- neurons of the 4th layer (4) are used to calculate the conclusions of the rules:$\psi_i = p_i\lambda_1 + q_i\lambda_2 + r_i$, где $p_i, q_i, r_i -$ output parameters.
- The 5th layer (5) has the role of aggregating the result obtained according to various rules, i.e. calculating the output value of the NS.

Conclusion. The apparatus for statistical synthesis of UAV design solutions allows the formation of statistical samples.

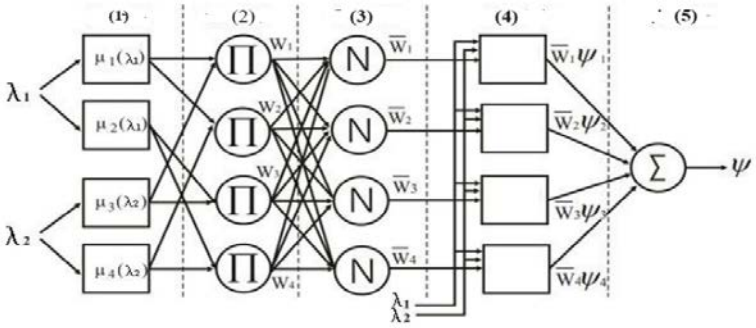


Figure 3 - Neural network structure of the ANFIS algorithm for two input vectors

A multicriteria design problem for identifying and correcting an experimental UAV model that is resistant to multifactorial uncertainty is solved using the so-called optimality principles, i.e. rules according to which the original set of partial optimality criteria is transformed into some one generalized criterion. The neural network does not require the selection of the desired optimality principle in the form of a generalized criterion, since the neural network implements the principle of parallel computing based on the inverse optimization method. In this case, the rational (optimal) design solution is the solution of the inverse optimization method.

REFERENCES

1. Балык В.М. Статистический синтез проектных решений при разработке сложных систем. М.: МАИ. 2011г. 278с.

2. Нгуен Куанг Тхыонг, Назаров А. Н., Чан Минь Хай. Статистический подход к задаче идентификации аэродинамических характеристик беспилотного летательного аппарата по экспериментальным данным // Журнал «Успехи современной радиоэлектроники». 2017. № 1. С.10-16.

3. Нгуен Тхань Лонг, Н.А. Кузин, Н.К. Юрков. К проблеме формирования облика перспективных беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2022. №1, с. 55-66.

4. Nguyen Quang Thuong, Tran Minh Hai, Nguyen Xuan Tien, Pham Tuan Anh On the Statically Method Selection of Unmanned Aerial Vehicle Characteristic Stable to Multifactor Uncertainty. 11th IEEE International Conference Application of information and communication technologies-AICT2017, 2017. Vol 1. Moscow, Russian p. 80-84.

5. Чан Минь Хай, Нгуен Куанг Тхыонг, Пащенко Ф. Ф. Численное решение задачи оценки полноты характеристик беспилотного летательного аппарата методом структурно-параметрического синтеза // Журнал «Электромагнитные волны и электронные системы». 2018. № 1. С.24-29.

6. Grishko, A. Control algorithm for decision making in multi-criteria optimization problems. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2388(1), 012035.

7. Grishko A. K., Kochegarov I. I., Goryachev N. V. Multi-criteria Optimization of the Structure of Radio-electronic System in Indeterminate Conditions. 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Saint Petersburg, Russia, May 24-26, 2017, pp. 210 – 212. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970540.

8. Grishko A., Danilova E., Rybakov I., Lapshin E., Goryachev N. Multicriteria Selection of the Optimal Variant of a Complex System Based on the Interval Analysis of Fuzzy Input Data. 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), Moscow, Russia, 14-16 March 2018. pp. 1-7. DOI: 10.1109/MWENT.2018.8337237.

9. Grishko A. Parameter control of radio-electronic systems based of analysis of information conflict. 2016 13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). Novosibirsk, Russia, October 03-06, 2016, Vol. 02, pp. 107–111. DOI: 10.1109/APEIE.2016.7806423.

10. Grishko A., Kochegarov I., Yurkov N. Structural and Parameter Optimization of the System of Interconnected Processes of Building Complex Radio-Electronic Devices. 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). Polyana, Svalyava, (Zakarpattya), Ukraine, February 21 - 25, 2017, pp. 192–194. DOI: 10.1109/CADSM.2017.7916112.

УДК 681.2

Кияшко[1] В.В., Логинов[2] В.И., Савельев[3] В.Н., Ямпурин[4] Н.П.

[1,3] Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

[2,4] Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского технического университета им. Р. Е. Алексеева, Арзамас, Россия

[1] yampurin@apingtu.edu.ru

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПАССИВНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МОРЕ

Аннотация. Приведен анализ характеристик качества радиопеленгатора потерянных грузов и работы оператора с ним на плавсредстве. Показано, что для повышения надежности и удобства работы с пеленгатором необходимо, наряду с ручной регулировкой усиления, использовать автоматическую. Показано исходя из восприятия звуковых сигналов оператором, что необходимо использовать задержанную автоматическую регулировку усиления со ступенчатой регулировкой. Разработана электрическая схема на основе «жесткой логики» и печатный узел автоматической регулировки усиления на бескорпусной элементной базе с низким энергопотреблением, приведены результаты тестирования автоматической регулировки усиления .

Ключевые слова: система обнаружения, потерянные грузы, радиопеленгатор, автоматическая и ручная регулировка усиления, элементная база, электрическая схема, печатный узел

Kiyashko[1] V.V., Loginov[2] V.I., Savelyev[3] V.N., Yampurin[4] N.P.

[1,3] Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

[2,4] Arzamas Politechnic Institite (branch) of the Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseeva, Nizhny Novgorod, Russia

[1] yampurin@apingtu.edu.ru

IMPROVE THE QUALITY CHARACTERISTICS OF THE PASSIVE OBJECT DETECTION SYSTEM AT SEA

Annottation. The analysis of the quality characteristics of the lost cargo radio direction finder and the operator's work with it on a watercraft is given. It is shown that in order to increase the reliability and convenience of working with the direction finder, it is necessary to use an automatic (AGC) along with manual gain control. It is shown, based on the perception of audio signals by the operator, that it is necessary to use a delayed AGC with stepwise gain control. An electrical circuit based on "rigid logic" and a printed AGC unit based on a low-power, bodyless element base have been developed, and the results of AGC testing are presented.

Keywords: detection system, lost loads, radio direction finder, automatic and manual gain control, element base, electrical circuit, printing unit

Введение.

Большой объем грузовых перевозок в России производится как водным, так и морским транспортом, однако при этом возможна потеря груза (контейнера) с плавсредства (судно или корабль). Незатонувшие контейнеры опасны для судоходства, поэтому их необходимо найти, если при этом грузы будут иметь значительную стоимость, то это сделает их поиск вполне рентабельным, особенно в районах Крайнего Севера. При экстремальных метеоусловиях и удаленности от суши поиск потерянных грузов представляет собой сложную и дорогостоящую операцию. Для облегчения поиска объектов в море традиционно применяется система обнаружения (СО) представляющая собой комплекс, состоящий из 2-х аварийных маяков (гидромаяка и радиомаяка), устанавливаемых на объекте поиска. Таким образом, есть два канала передачи информации о местонахождении груза - это под водой (гидроакустический) и над водой (радиотехнический). Построение первого описано в [1] и представляет отдельную задачу, а особенности построения и функционирования радиотехнического канала рассмотрены в данной работе.

Радиомаяк формирует рабочий сигнал в виде последовательности парных радиоимпульсов на несущей 243 МГц длительностью 35 мс с периодом повторения 1 секунда. Поиск направления на радиомаяк осуществляется оператором плавсредства ручным радиопеленгатором (РРП). Исходя из восьми ключевых принципов системного управления качеством, составляющих основу международных стандартов в области управления качеством ИСО серии 9000 [2], рассмотрим характеристики качества РРП.

1. Потребительские свойства серийного радиопеленгатора, их недостатки

На заводе имени Петровского Г.И. (г. Нижний Новгород) серийно производится РРП, вид которого с антенной, элементами настройки и индикации представлен на рис .1.

Контроль звуковой и визуальный принимаемых радиосигналов осуществляется при помощи телефона головного ТГ-16 и светодиодного индикатора УРОВЕНЬ. Антенна ПРМ типа «волновой канал» представляет собой четырехэлементную конструкцию, содержащую активный вибратор, два пассивных вибратора и рефлектор. Каждый элемент состоит из двух одинаковых частей, которые крепятся резьбовым соединением к траверсе и к основанию антенны в точках «1»-«4» (см. рисунок 1) в соответствии с маркировкой на частях вибраторов. Точки «3» крепления частей активного

вибратора имеют электрический контакт со входными цепями устройства приемного пеленгатора РМ. Траверса крепится к основанию антенны винтовым соединением.

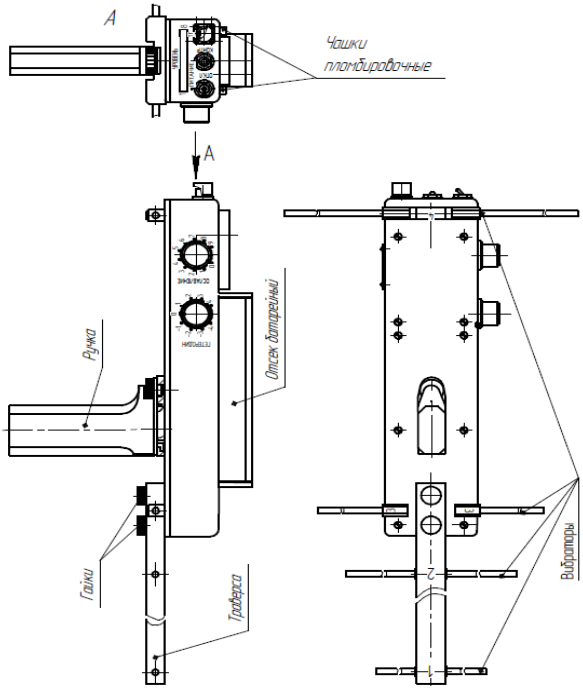


Рисунок 1 - Внешний вид радиопеленгатора

Для приема вертикально поляризованного излучения от передающей антенны радиомаяка вибраторы антенны РРП в рабочем положении располагаются вертикально. При этом максимум диаграммы направленности антенны расположен вдоль траверсы.

Антенна и входные цепи настроены на номинальную рабочую частоту 273 МГц радиомаяка СО изделия. Контроль звуковой и визуальный принимаемых радиосигналов осуществляется при помощи телефонов головных ТГ-16 и светодиодного индикатора «УРОВЕНЬ». Для более точной подстройки на 243 МГц частота гетеродина может перестраиваться с помощью регулятора «ГЕТЕРОДИН», расположенного на корпусе РРП. Ручная регулировка усиления осуществляется посредством ручки регулятора «ОСЛАБЛЕНИЕ».

При работе РРП в собранном виде удерживается за ручку или устанавливается в устройство поворотное, которое закрепляется к вертикальной стойке на верхней палубе поискового судна. Поворотное устройство снабжено круговым лимбом с нанесенными на него делениями в угловых градусах для определения направления на радиомаяк относительно продольной оси судна. Телефон головной подключается к приемнику радиосигналов с помощью разъёма.

Перед началом работ необходимо определить на борту поискового судна оптимальное место для пеленгования по максимальному углу обзора и минимальному количеству мешающих приему сигнала металлических конструкций судна. В результате такого поиска груз попадает в зону непосредственной видимости. В условиях плохой видимости место нахождения груза дополнительно определяется по вспышкам проблесковых маяков СО.

При проведении поиска, особенно при волнении, необходимо учитывать, что возможно периодическое пропадание сигнала, поскольку передающая антенна радиомаяка СО расположена с одной стороны груза и выступает над уровнем моря не более чем на 0,5 м. В этих условиях у оператора может возникнуть необходимость держаться за перила или другие конструкции, что усложняет возможность ручной регулировки. Кроме того, для ручной пеленгации необходимо иметь соответствующий опыт и хорошее знание устройства пеленгатора, поэтому неопытному специалисту довольно трудно работать с таким устройством.

На основании вышеизложенного, требуется автоматическая регулировка усиления (АРУ) в РРП, которая должна упростить его использование в сложных климатических условиях, а также обеспечить его применение неподготовленным оператором.

2. Приемный тракт радиопеленгатора с автоматической регулировкой усиления

Приемный тракт РРП построен по классической схеме супергетеродинного приемника [3] и состоит из антенного контура 1, включающего в себя собственно антенну связанную индуктивно с частотно-избирательной цепью, осуществляющую

предварительную селекцию радиосигнала на входе смесителя 2 (рис. 2). Кварцевый гетеродин 3 формирует опорную частоту 121,5 МГц с возможностью узкополосной перестройки. На выходе смесителя выделяется низкочастотный сигнал звуковой частоты (НСЗЧ) в виде разностной комбинационной частоты 3-го порядка, который поступает на усилитель 4 с регулируемым коэффициентом передачи. Узел 5 реализует регулировку усиления (РУ) ручную /автоматическую. После полосового фильтра 6 с полосой пропускания от 500 Гц до 3 кГц НСЗЧ идет на усилитель 7. НСЗЧ с усилителя 7, с одной стороны, детектируется, преобразуется в код и его уровень отображается светодиодным индикатором 8, а, с другой стороны, параллельно идет на головные телефоны 9 оператора. Максимальный коэффициент усиления всего тракта приема не менее 250000 при возможности его уменьшения максимум на - 80 дБ при ручной / автоматической регулировке усиления, последняя реализуется за счет обратной связи между выходом усилителя 7 и блоком РУ.

Питание РРП осуществляется от батареи, состоящей из трех элементов ER6P, в процессе работы ее напряжение падает с 10 В до 7,5 В, что фиксируется светодиодным индикатором «ПИТАНИЕ КОНТР» батареи. Время непрерывной работы РРП не менее 30 часов при токе потребления не более 30 мА.

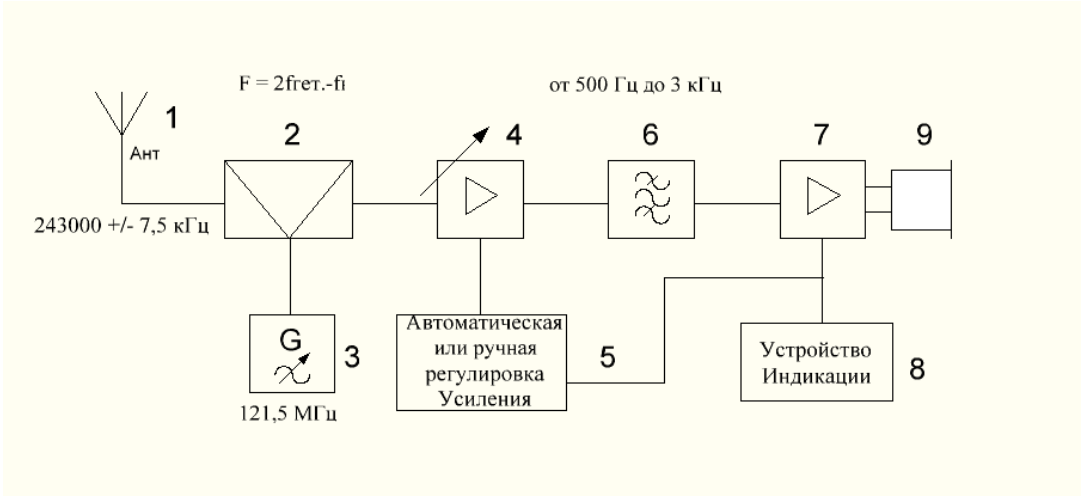


Рисунок 2 - Структурная схема приёмника радиопеленгатора

2. Проектирование устройства автоматической регулировки усиления и анализ его показателей качества

При построении АРУ необходимо учитывать физиологию органов слуха человека [4]. Многочисленные сигналы возбуждения, непрерывно генерируемые при воздействии звука на мембрану и посылаемые в мозг, должны быть преобразованы «системой обработки данных» мозга в ощущения и восприятия. Последние характеризуются высотой тона, громкостью, тембром, локализацией источников сигнала и восприятием пространства, объема. Система озвучения будет хорошо работать лишь в том случае, если она согласована с порогами различения, поэтому регулировка усиления должна быть ступенчатой с автоматическим переключением усиления с интервалом не менее четырех принятых радиоимпульсов, т.е. необходима задержанная АРУ. Шаг между порогами должен быть порядка 3 дБ, что соответствует середине диапазона комфортной слышимости звука связанными с вышеназванными признаками.

Основные технические требования к АРУ сводятся к следующему:

- принцип пеленгования РМ – амплитудный, поэтому усиление не должно меняться в отсутствии сигнала;

- печатный узел АРУ должен конструироваться в существующих габаритах РРП и иметь минимальную потребляемую мощность.

Авторами было рассмотрено два варианта построения АРУ в зависимости от используемых электрорадиоэлементов (ЭРЭ) [5,6]:

1) на основе логических интегральных микросхем (ИС) малой степени интеграции и операционном усилителе (ОУ);

2) на одной БИС, выполняющей все функции управления, например, микроконтроллере или программируемой логической ИС (ПЛИС), что несколько уменьшает габариты и существенно сокращает количество элементов схемы, но повышает потребление тока. Кроме того, возникает необходимость разработки, хранения и учета программного обеспечения, для чего в техпроцесс необходимо ввести дополнительную процедуру программирования контроллера или ПЛИС, что снижает надежность РРП.

Исходя из обеспечения повышенной надежности АРУ, был выбран вариант построения электрической схемы на ЭРЭ «жёсткой логики» ИС серии 564 с током

потребления несколько мкА [5] при напряжении питания от 4,23 до 15 В, что не требует стабилизации питания при снижении тока потребления.

Схема электрическая принципиальная устройства АРУ радиопеленгатора приведена на рис. 3.

На вход устройства (контакт XT2) сигнал поступает с выхода усилителя 7, выпрямляется детектором VD1, C1, C2 и поступает на входы четырех пороговых устройств (компараторов), выполненных на ОУ D1 1401 УД2. На инвертирующие входы 4-х компараторов поступают опорные напряжения с выходов делителя стабилизированного напряжения (контакт XT1), выполненного на резисторах R1, R2, R6-R9.

Пороговое значение входного напряжения, при котором срабатывает четвертый компаратор, устанавливается резистором R1 на уровне (1±0,2) В. Пороговое напряжение каждого последующего компаратора меньше предыдущего на 3дБ. Уровни опорных напряжений компараторов и номиналы резисторов приведены в таблице 1 для минимально допустимого напряжения питания 7,5 В.

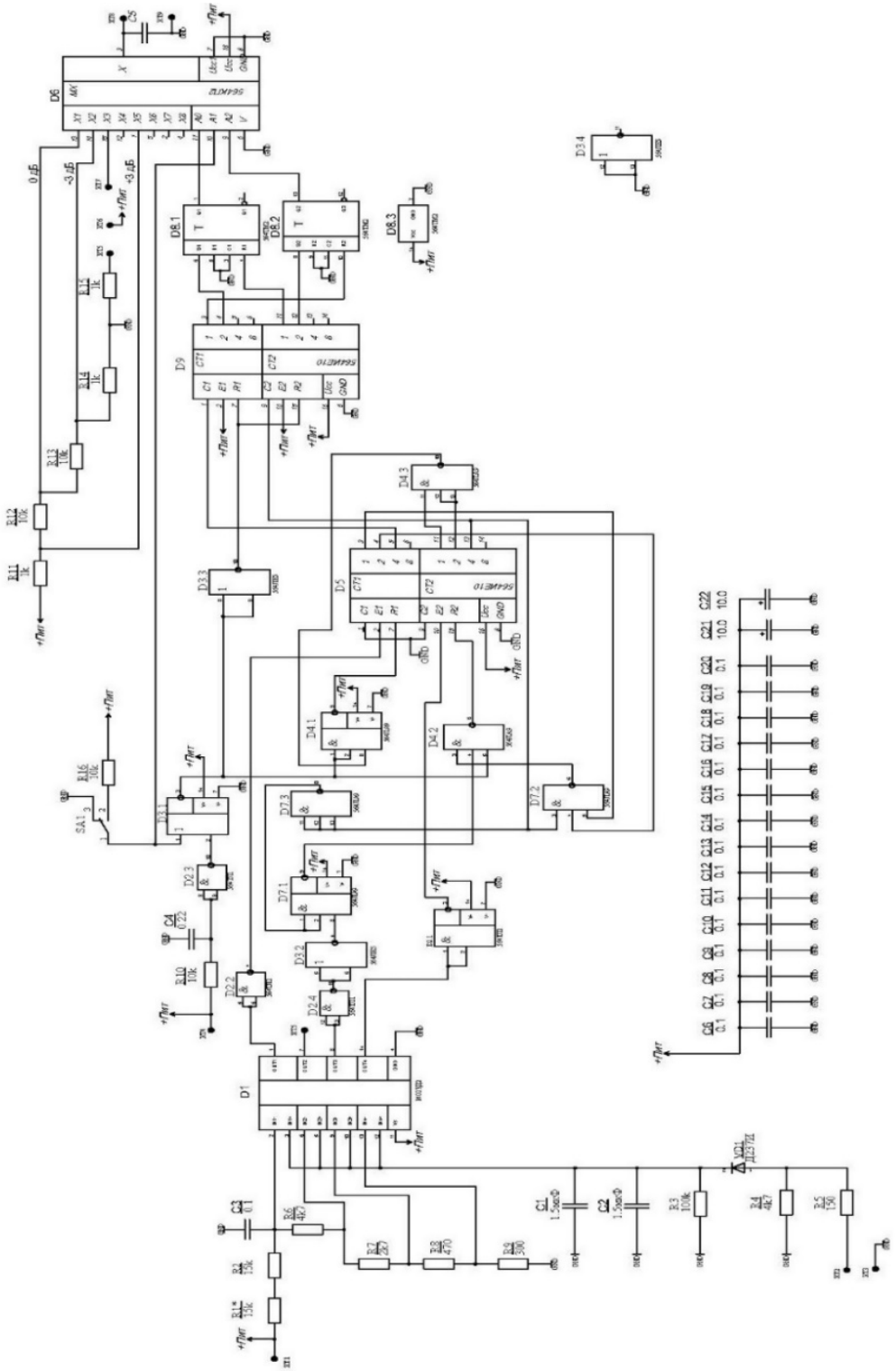


Рисунок 3 - Схема электрическая принципиальная АРУ ПРМ

Опорные напряжения компараторов и номиналы резисторов Таблица 1

Номер резистора	Опорное напряжение компаратора, В	Сопротивление резистора, Ом
R9	0,08	320
R8	0,2	480
R7	0,50	1200
R6	1,20	2800

Срабатывание компараторов определяет логику работы схемы. С выходов первого и четвертого компаратора сигнал поступает на вход ИС счетчика D5 564ИЕ10. Этот счетчик обеспечивает задержку срабатывания не менее четырех импульсов. ИС D2 564ТЛ1 обеспечивает формирование логических сигналов с выходов компараторов. Сигнал с выхода третьего компаратора удерживает счетчик D5 в сброшенном состоянии. Уровень сигнала для срабатывания этого компаратора соответствует середине диапазона комфортной слышимости звука. Выход этого компаратора сбрасывает D5 в исходное состояние, если у него было ненулевое состояние.

Счетчик D5 обеспечивает формирование сигналов управления в АРУ по четвертому импульсу в заданном компараторе (D1). Триггеры D8564ТМ2 обеспечивают удержание АРУ в заданном состоянии, а счетчик D9564ИЕ10 управляет триггерами в соответствии с выходными сигналами счетчика D5. При этом выход счетчика СТ1 сбрасывает счетчик СТ2 при условии, что СТ2 находится в состоянии загрубления (-3дБ).

Коммутатор D6 564КП2 формирует напряжения управления коэффициентом усиления в соответствии с логикой работы схемы. Уровни этих напряжений формируются делителем на резисторах R11-R14.

Вход счетчика СТ1 повышает коэффициент усиления, а счетчик СТ2 понижает. Счетчики выдают сигнал на срабатывание по третьему подряд импульсу входного сигнала. При этом выходной сигнал счетчика сбрасывает соседний счетчик. Если СТ2 ИМСD5 находится в сработанном состоянии, то тогда первое срабатывание счетчика СТ1 сбрасывает счетчик СТ2 и АРУ переходит в нормальное состояние. Следующее срабатывание счетчика СТ1 загрубляет коэффициент усиления на 3дБ. Если уровень сигнала находится в середине динамического диапазона звука, то срабатывают два нижних компаратора D1, а, чтобы схема не увеличивала коэффициент усиления по сигналу счетчика СТ2, второй компаратор, соответствующий нормальному уровню сигнала, сбрасывает счетчик СТ2 и АРУ находится в нормальном состоянии.

Цепь на элементах R10, C4, D2.3 формирует сигнал сброса по включению питания, а цепь на SA1, R16, D3.1 переводит работу РРП в ручной режим .

По схеме рис.3 в САПР AltiumDesigner версии 21.2.1. был разработан печатный узел (ПУ) АРУ согласно требований ГОСТ РВ 20-39.304, внешний вид которого со стороны установки ЭРЭ приведен на рис.4. При разработке ПУ для повышения надежности устройства и снижения массогабаритных показателей применен поверхностный монтаж.

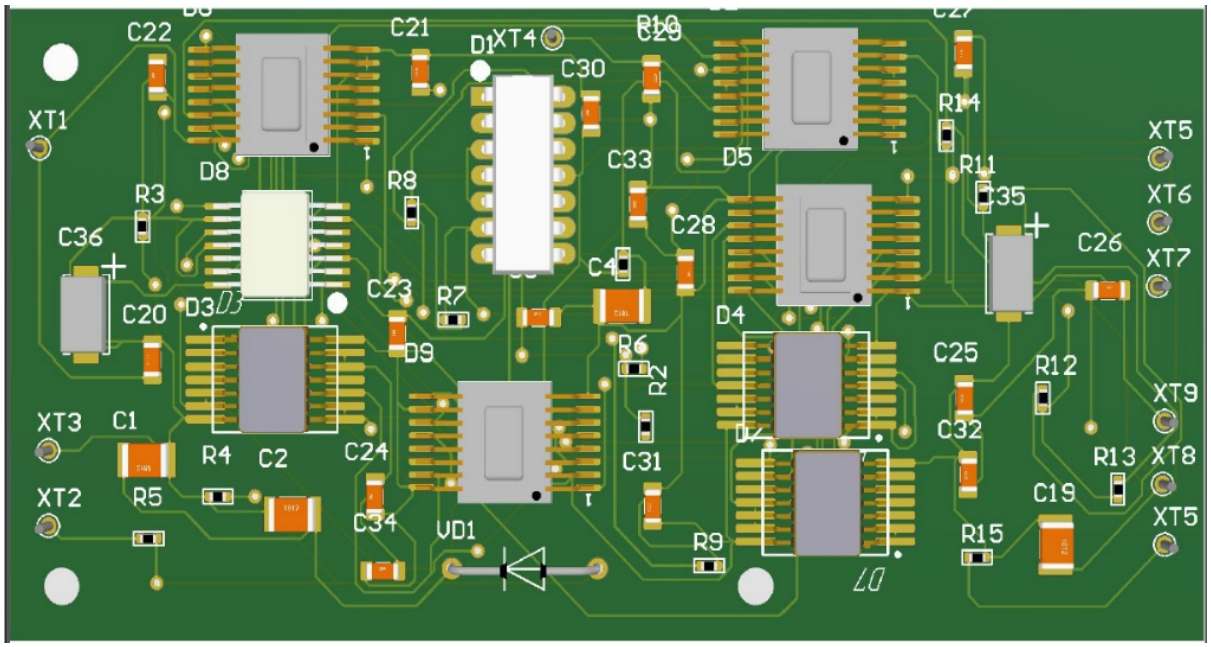


Рисунок 4 - Печатный узел АРУ радиопеленгатора

Для тестирования работы АРУ на вход ПУ подавались сигналы идентичные рабочим сигналам на выходе усилителя 7 - это пачки из двух видеоимпульсов длительностью (35 ± 15) мс при внутриимпульсной частоте (2,5 ± 0,5) кГц для периода повторения (1,1 ± 0,4) с. Форма сигнала и количество импульсов контролировались осциллографом, наблюдалось срабатывание АРУ на каждый четвертый импульс. Результаты расчетов и измерений для напряжений питания 7,5 В и 10 В приведены в табл. 2.

Результаты расчетов и измерений сигналов АРУ Таблица 2

№ п/п	Частота кГц	Uпит, В	Уровень входного сигнала, В	Уровень выходного сигнала, В		
				расчет	измерение	отклонение, %
1	2,51	7,5	0,08	0,34	0,37	8,82
2	2,51	10	0,11	0,46	0,48	4,35
3	2,51	7,5	0,20	3,75	4,11	9,6
4	2,51	10	0,27	5	5,18	3,6
5	2,51	7,5	1,16	7,16	7,81	9,07
6	2,51	10	1,55	9,55	9,70	1,57

Показатель надёжности является очень важным показателя качества радиопеленгатора и его расчет представлен показателями безотказности и долговечности.

Расчет показателя безотказности выполнен, согласно рекомендации работы [7], коэффициентным методом на базе автоматизированной системы расчета надежности (АСРН) выпуска 2006 года (16 версия) для группы исполнения аппаратуры 2.1.3 [8], получена наработка на отказ в 20155 часов.

Расчет показателя долговечности (назначенный срок службы), определенный методом сравнительного анализа сроков службы, примененными ЭРЭ, используемыми материалами составил 16 лет.

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа работы оператора с серийно выпускаемым ручным радиопеленгатором маяка потерянного груза предложено, с целью улучшения потребительских свойств, ввести автоматическую регулировку усиления сигнала звуковой частоты.

2. Анализ восприятия оператором звуковых сигналов показал, что необходимо использовать задержанную АРУ со ступенчатой регулировкой усиления с интервалом срабатывания на четвертом радиоимпульсе.

3. Выбрана элементная база и разработаны электрическая схема и конструкция печатного узла АРУ, обеспечивающие минимальные потребляемую мощность и массогабаритные характеристики, совместимые с существующей конструкцией радиопеленгатора.

4. Приведены результаты тестирования разработанного печатного узла АРУ, подтвердившие результаты расчетов, рассчитаны показатели безотказности и долговечности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годунова М.А., Зотов Н.П., Хомутов П.С., Мясникова М.Г. Методы обнаружения и анализа сигналов в системах с использованием сонаров / М.А.Годунова, Н.П. Зотов, П.С Хомутов, М.Г. Мясникова // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2-х томах. - Пенза, ПГУ, 2023. – Т.1.- с.202-207.

2. Ямпурин Н.П. Управление качеством электронных средств: учеб. пособие / Н.П. Ямпурин Н.П., Р.В. Свердлов; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2015. – 115 с.

3. Колосовский Е.А. Устройства приёма и обработки сигналов/ Е.А. Колосовский.–М.:Телеком, 2007.

4. Анерт В. Основы техники звукоусиления. / В. Анерт, В. Райхард. – М.: Радио и связь. 1984.

5. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база (в 2-х книгах) /М.Ю. Масленников, Е.А. Соболев и др. – М.:ИТАР-ТАСС, 1993.

6. Интегральные схемы: Операционные усилители: Справочник. Том 1.– М.: Физматлит, 1993.

7. Сергеев М.М., Соловьев В.А. .Исследование методов расчета надежности электронной аппаратуры / М.М.Сергеев, В.А. Соловьев // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2-х томах.-Пенза, ПГУ, 2019. – Т.1.- с.158.

8. Ямпурин, Н.П. Основы надежности электронных средств: учеб. пособие для студ. высш.учеб. заведений/ Н.П. Ямпурин, А.В. Баранова; под ред. Н.П. Ямпурина. – М.: Издательский центр "Академия", 2010. – 240 с.

УДК 621.3
Кувырков[1] А.В., Бростилов[2] С.А. Аубакиров[3] А.К., Мосеев[4] А.П., Вьюговский[5] А.А.
[1,2,3,4,5] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1] kipra@pnzgu.ru

АНАЛИЗ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ НА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Аннотация. В данной работе проведен анализ систем видеонаблюдения. Рассмотрены их недостатки и достоинства и выбран прототип для проектируемой системы.
Ключевые слова: видеосигнал, протокол, разрешение, объектив, параметр, видеосервис

Kuvyrkov[1] A.V., Brostilov[2] S.A., Aubakirov[3] A.K., Moseev[4] A.P., Vyugovsky[5] A.A.
[1,2,3,4,5] Penza State University, Penza, Russia
[1] kipra@pnzgu.ru

ANALYSIS OF VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS AT COMPLEX TECHNICAL FACILITIES

Annotation. This paper analyzes video surveillance systems. Their disadvantages and advantages are considered and a prototype for the designed system is selected.
Keywords: video signal, protocol, permission, lens, parameter, video service

Рассмотрим ряд систем, созданных за последнее десятилетие. Выделим их недостатки и достоинства и выберем прототип для проектируемой системы.

Аналоговые камеры:



Выбор телекамеры осуществляется на основании классификации. Телевизионные камеры классифицируются по следующим параметрам:

По виду получаемого видеоизображения:

- при чёрно-белом изображении выходного видеосигнала могут использоваться стандарт CCIR (МККР - Международного консультативного комитета по радиосвязи, 625 строк/50 полей);
- при цветном изображении выходного видеосигнала используются стандарты:

а) PAL;
б) SECAM;
в) NTSC.

По чувствительности:

- класс 1 телевизионные камеры, работающие при дневном освещении, т.е. до заката (примерно 50 лк);
-класс II - телевизионные камеры, работающие при низком освещении, т.е. до сумерек (приблизительно 4 лк);
-класс III - телевизионные камеры, работающие при лунном свете, т.е. при освещённости, соответствующей свету четверти луны безоблачной ночью (0,1-0,4 лк);
-класс IV - телевизионные камеры, работающие при свете звёзд, т.е. при освещённости, соответствующей свету звёзд безоблачной ночью (0,0007-0,002 лк);
-класс V - инфракрасные телевизионные камеры, в которых используются инфракрасные источники для работы при полном отсутствии видимого освещения.

При выборе телевизионных камер для конкретного объекта необходимо учитывать тип источника света и спектральную характеристику датчика изображения телевизионной камеры

Выбор формата телекамеры актуален только для телекамер, использующих в качестве чувствительного элемента ПЗС-матрицу, так как телекамеры, использующие в качестве чувствительного элемента видиконы, комплектуются встроенными объективами и в настоящее время практически производятся только в России (телекамеры для промышленных телевизионных установок).

Формат телекамеры, использующей в качестве чувствительного элемента ПЗС-матрицу, определяется размером матрицы в дюймах (производятся матрицы в основном японскими и корейскими предприятиями, где в качестве единицы измерения длины приняты дюймы).

Выбор формата телекамеры необходимо производить одновременно с выбором формата объектива. В общем случае необходимо учитывать, что телекамеры меньшего формата совместимы с большим числом форматов объективов, что может быть существенным в последующем при эксплуатации, когда может возникнуть необходимость переноса телекамеры и замене объектива.

IP-камера сетевая камера:



IP-камера сетевая камера, с встроенным процессором сжатия видеоизображения и оцифровки, имеющая стандартный разъем RJ-45 для подключения в сеть Ethernet.

Под IP-камерой (или сетевой камерой) понимают цифровую видеокамеру особенностью которой является передача видеопотока в цифровой форме по сети использующей IP протокол. Являясь сетевым устройством, каждая IP камера в сети имеет свой IP-адрес. Главное отличие от аналоговых CCTV в том, что изображение остается цифровым после получения видеокадра с ПЗС или КМОП матрицы камеры вплоть до отображения на мониторе.

Перед передачей, полученное с матрицы изображение сжимается с помощью покадровых (MJPG) или потоковых (MPEG-4) методов компрессии. Существуют IP камеры, осуществляющие передачу видео в несжатом виде. В качестве протоколола в IP камерах могут использоваться протоколы: TCP, HTTP, TFTP и другие сетевые протоколы стека TCP/IP. IP-камерам не требуется передавать аналоговый сигнал в формате PAL или NTSC. Как следствие в IP камерах могут использоваться большие разрешения, включая мегапиксельные. Типичное разрешене для сетевых камер: 640x480 точек. Существуют камеры с мегапиксельными разрешениями: 1280x1024, 1600x1200 и более высокими.

IP-камеры применяются для решения следующих задач:

- обеспечение безопасности
- удаленный мониторинг за тенхологическими процессами
- удаленное управление (удаленное наблюдение за офисом)
- удаленное наблюдение за строительной площадкой
- визуализация и регистрация внештатных ситуаций продвижение в сети туристических и других услуг

Благодаря отказу от использования стандартов аналогового телевидения PAL и NTSC, IP камеры могут передавать видеокадры с высокой частотой. На рынке систем безопасности существуют IP-камеры с частотой передачи больше 50 кадров в секунду. Что оптимально подходит за видеонаблюдением за технологическими и другими процессами.

К преимуществам IP-камер можно отнести следующие:

- Построение масштабируемых распределенных систем видеонаблюдение
- Отсутствие двойной конвертации сигнала свойственного аналоговым камерам
- Использование более высоких разрешений по сравнению с аналоговыми камерами
- Возможность использования прогрессивной развертки
- Возможность передачи аудиопотока по сети паралелльно с видеопотоком

Передача команд на управления поворотным устройством (для поворотных IP камер) по сети

К недостаткам IP-камер можно отнести:

высокую цену. Цена на IP камеры выше чем у аналоговых камер

- необходимость декомпрессии видеопотока на принимающей стороне (клиенте)

подверженность к внешнему сетевому воздействию по сети (взлому)

иногда аппаратное зависание.

Ключевые различия между IP- и аналоговыми камерами

-Чересстрочная развертка. Даже при вещательном (4CIF) строчном разрешении, аналоговый видеосигнал страдает от дрожания строк, вызываемого особенностями развертки движущиеся объекты видны заметно размытыми. Сетевая камера с прогрессивной разверткой более четко отображает объекты в движении. Поскольку кадр в этом способе осуществления развертки не разделяется на два отдельных поля, четкость изображения значительно возрастает.

- Электропитание. Подача питания на аналоговую камеру может оказаться и дорогостоящей, и технически трудно осуществимой. Сначала необходимо проложить коаксиальный кабель для передачи видеосигнала, а затем развести по всем камерам питающее напряжение. Сетевые же камеры могут запитываться непосредственно по сетевому кабелю, используя стандарт подачи питания Power over Ethernet (PoE), то есть, по тому же самому кабелю, по которому передаются цифровые данные в сети.

- Интеграция систем бесперебойного питания. Еще одним преимуществом применения камер, использующих стандарт PoE и сетевые преобразователи, о котором зачастую забывают потребители, является значительно более простой и дешевый способ обезопасить систему IP- видеонаблюдения от перебоев в электропитании, чем это вылилось бы в традиционной аналоговой системе. Обычные камеры охранного ТВ требуют подведения электропитания к каждому из мест их расположения, требуя таким образом и размещения на каждой из точек устройств резервного питания, Что может оказаться весьма затратным. В свою очередь, в IP-систему, запитанную по стандарту PoE, электричество подается на сетевой преобразователь централизованно, что позволяет одному либо двум автоматическим блокам бесперебойного питания осуществлять подачу резервного питания на всю сеть камер одновременно. Чаще всего для этих целей используется существующая система бесперебойного питания, обслуживающая персональные компьютеры и видеосерверы.

- Разрешение. Аналоговые камеры не способны превзойти по разрешению существующие телевизионные стандарты, соответствующие при вещательном разрешении всего лишь 0,4 мегапиксела. Фактически в силу технических и финансовых ограничений многие аналоговые системы эксплуатируются в разрешениях значительно ниже вещательного до 0,01 мегапиксела. Технологии сетевого видео обеспечивают разрешение сигнала, способное в 15 раз превышать по качеству аналоговое видео. Современные камеры способны обрабатывать видеопотоки со скоростью 3 Мбит/с.

Интеллектуальные свойства. Технология сетевого видео позволяет снабдить камеры значительно более широким набором встроенных пользовательских функций. К примеру, камеры могут быть запрограммированы на запуск записи по обнаружении движения в кадре, что существенно снижает нагрузку на пропускную способность сети. Среди прочих особенностей отметим компенсацию пересвета и встречной засветки, применение двух объективов, встроенные средства цифрового хранения информации, поддержка аудио и высокоскоростной цифровой телефонии стандарта SIP.

Выбор устройств регистрации



Видеорегистратор - это многофункциональное современное устройство, на которое поступает изображение от камер охранного видеонаблюдения, далее происходит запись на встроенные жесткие магнитные диски и вывод видеоинформации на мониторы, расположенные в помещении охраны.

Запись может осуществляться в зависимости от выбранных настроек:

-постоянно

-при срабатывании внутреннего датчика движения

-при срабатывании внешнего датчика движения

-по заранее определённому расписанию

Цифровые видеорегистраторы позволяют записывать видеоизображение на жесткий диск и просматривать запись сигналов от одной или нескольких видеокамер.

Одноканальные видеорегистраторы позволяют работать с одной камерой, четырехканальные с четырьмя камерами, девяти и шестнадцати канальные с девятью и шестнадцатью соответственно. Как правило, сигналы от всех камер по кабелям поступают на вход видеорегистратора, к выходу которого подключён монитор. В дежурном режиме оператор видит на мониторе текущую обстановку на охраняемом объекте. Для этого на монитор выводятся изображения со всех камер одновременно (мультиэкранный режим 4, 8, 9 или 16 маленьких изображений на одном экране). Также он может вызывать картинки, поступающие с камер последовательно, просматривая на полном экране изображение любой камеры вручную по собственному выбору или автоматически по очереди. Сегодня на рынке охранной видеотехники предлагается много всевозможных моделей цифровых видеорегистраторов. Эти видеорегистраторы отличаются своими параметрами и, естественно, ценой.

Первый важный параметр - количество кадров в секунду при наблюдении. При просмотре обычного телевизора, мы наблюдаем изображение, где картинка меняется с частотой 25 кадров в секунду. Хороший видеорегистратор тоже выдает изображение, в котором за секунду на экране выводится 25 кадров. В этом случае достигается двойное преимущество, во первых оператор может наблюдать даже быстро происходящие события, во вторых, чем больше кадров в секунду выводится на экран, тем легче восприятие видеоизображения, оператор меньше утомляется и находится в большей готовности к внештатным ситуациям и всевозможным происшествиям.

Второй важный параметр число кадров в секунду при записи. На рынке есть видеорегистраторы, записывающие изображение с каждой камеры с частотой 25 кадров в секунду (в этом случае при воспроизведении получается изображение как в обычном телевизоре). Но данные модели видеорегистраторов достаточно дорогие. Однако, зачастую, такой высокой частоты кадров при организации записи даже и не требуется (за исключением видеонаблюдения в казино и некоторых случаев контроля за воровством в магазинах). Как правило запись осуществляется с частотой 3-8 кадров в секунду. При покадровом просмотре видеозаписи мы имеем картинку, меняющуюся за каждую секунду 3 - 8 раз. В технических характеристиках видеорегистратора всегда указывается так «совокупная частота кадров при записи». Например, если указано, что видеорегистратор имеет совокупную частоту кадров при записи 25 кадров в секунду, то это значит, что видеорегистратор позволяет записывать сигналы с видеокамер со следующим количеством кадров в секунду:

- При подключении одной камеры количество записываемых кадров в секунду - 25
- При подключении двух камер для каждой из камер количество записываемых кадров в секунду - 12.
- При подключении трех камер для каждой из камер количество записываемых кадров в секунду – 8.
- При подключении шестнадцати камер для каждой из камер количество записываемых кадров в секунду 1,5

Третий параметр - это разрешение картинки при записи. Оно указывается двумя цифрами, например, 720*480. То есть 720 это количество отображаемых на мониторе точек по горизонтали, а 480 точки по вертикали. Считается опять же, что чем больше разрешение, тем более мелкие детали можно разглядеть на экране монитора при воспроизведении записи. В общем-то, это не всегда так. Потому что чтобы получить четкую прорисовку деталей видеоизображения, необходимо не только правильно выбрать видеорегистратор, но и грамотно подобрать видеокамеры наблюдения, объективы, правильно осуществить монтаж кабелей и всей системы видеонаблюдения в целом. Например, неправильный выбор объектива может свести на нет все преимущества остальной высококачественной современной дорогой видеоаппаратуры. Большие деньги, потраченные на нее, будут потрачены впустую, так как то же качество изображения можно было бы получить, выбрав более дешевое оборудование, но подойдя к этому выбору более грамотно, с большей рассудительностью.

Четвертый важный параметр такая функция видеорегистратора, как работа в сети. Возможность работать в сети это возможность подключиться к видеорегистратору с удаленного компьютера. Например, установленный в комнате службы охраны видеорегистратор может быть подключен к компьютеру главы организации. В этом случае руководитель может на мониторе своего компьютера видеть изображения со всех камер наблюдения и просматривать любую видеозапись, находящуюся в архиве видеорегистратора.

Пятый важный параметр наличие детектора движения. Хорошие видеорегистраторы имеют свою функцию обнаружения движения. Работа детектора движения заключается в следующем. Для каждой камеры наблюдения в поле ее зрения выделяется область (для каждой отдельной камеры можно установить свою область). В случае возникновения движения в этой области видеорегистратор подает тревожный сигнал, о возникновении движения и, например, переходит в режим более частой записи кадров

с той камеры, в поле зрения которой произошло движение. Если же никакого движения в кадре нет, то функция записи может быть вообще отключена (просто незачем записывать кадры, где ничего не происходит). При использовании этой возможности, значительно экономится место на жестком диске видеорегистратора и на один жесткий диск можно записывать информацию гораздо дольше.

IP-видеосервер (кодер) устройство для оцифровки (кодирования), сжатия и транслирования в сеть Ethernet видеосигнала с аналоговых видео камер. Может обрабатывать одновременно изображения с нескольких камер наблюдения.

видеосервер - подключенный к сети персональный компьютер, который позволяет просматривать видеоизображение с видеокамер и имеющий видеоархив.

В результате построения подобной схемы осуществляется работа только с цифровым сигналом. Сигнал обрабатываются и транслируются в общей локальной сети. Аналоговый видеосигнал обрабатывается ip-видеосервером. Записать цифровые видеосигнал можно на любой видеорегистратор. Наблюдение осуществляется с помощью охранного монитора через ip-видеосервер или подключенного в сеть персонального компьютера.

Стоимость подобных сетевых систем видеонаблюдения превосходить стоимость классических аналоговых систем в среднем на 20-40%. Но с каждым годом ценны на системы IP-видеонаблюдения имеют тенденцию снижения.

Негативным фактором для широкого применения таких систем является низкая пропускная способность каналов связи для передачи видео большого объема. Возможности системы IP-видеонаблюдения значительно шире по сравнению с аналоговым вариантом. Например, в ip системах гибкая архитектура построения многоуровневых полномочий.

IP-видеорегистратор система, совмещающее в одном корпусе устройство кодирования видеосигнала и его запись на жесткий диск.

IP-декодер устройство для обратного преобразования цифрового видеосигнала в аналоговый сигнал.

IP-декодер совмещенный с IP-видеорегистратором устройство, сочетающее в себе преобразователь цифрового видеосигнала в аналоговый и записывающее устройство.

Выбор монитора.



Выбор типа монитора: черно-белого или цветного зависит от задач, которые должны решаться с помощью ТСВ. Цветные мониторы целесообразно применять только при необходимости определения цвета объекта наблюдения (например, цвет автомобиля, одежды и волос преступника, осуществившего ограбление, для организации его поиска по горячим следам и т.п.). Во всех остальных случаях целесообразнее применять черно-белые мониторы, обладающие лучшей разрешающей способностью и более низкой стоимостью. Также зависит от количество камер, от это го зависит размер монитора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соломахо, В.Л. Справочник конструктора-приборостроителя/ В.Л. Соломахо, Р.И. Томилин, Б.В. Цитович, Л.Г. Рдовин. - Выш.шк.,1988. - 272с.

2. Ступель, Ф.А. Расчет и конструкция электромагнитных реле / Ф.А. Ступель. – Москва, Ленинград, 1950. – 431 с.

3. Гвоздек М. Справочник по технике для видеонаблюдения. Планирование, проектирование, монтаж: пер. с нем. [Текст] / М. Гвоздек. – Москва: Техносфера, 2010. - 552 с.

4. Кашкаров А. Системы видеонаблюдения. Практикум [Текст] / А. Кашкаров. – М: Феникс, 2014.

УДК 629.7.054.4

Клоков[1] И.И., Корнилов[2] А.В., Полякова[3] А.Ф., Ямпурин[4] Н.П.

[1,2,3,4] Арзамасское научно-производственное предприятие «ТЕМП-АВИА», Арзамас, Россия

[1,2,3,4] Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева, Арзамас, Россия

[1] klokoff.ilya@mail.ru

[2] kornilov_a@inbox.ru

[3] nnastia89@gmail.com

[4] kitres@apingtu.edu.ru

МЕТОДИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ В СООТВЕТСТВИИ С КТ-160G/14G

Аннотация. Рассматривается актуальность разработки современных информационно-измерительных устройств пилотажно-навигационных комплексов для гражданской авиации. Приведены сведения о материалах конструкции сертифицируемых изделий. Представлены разработанные в соответствии с КТ-160G/14G методики испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов, загрязняющих жидкостей и электростатического разряда. Приведены результаты испытаний по разработанным методикам и дана их оценка. Полученные результаты могут представлять практическую ценность для организаций, проводящих испытания технических средств в рамках сертификации продукции для гражданской авиации.

Ключевые слова: пилотажно-навигационные приборы, квалификационные требования, гражданская авиация, сертификация, испытания

Klokov[1] I.I, Kornilov[2] A.V., Polyakova[3] A.F., Yampurin[4] N.P.

[1,2,3,4] The Arzamas research and production enterprise «TEMP-AVIA», Arzamas, Russia

[1,2,3,4] The Arzamas Polytechnic Institute (branch) of The Nizhny Novgorod State Technical University nfmed after R. E. Alekseev, Arzamas, Russia

[1] klokoff.ilya@mail.ru

[2] kornilov_a@inbox.ru

[3] nnastia89@gmail.com

[4] kitres@apingtu.edu.ru

METHODS AND TEST RESULTS OF FLIGHT NAVIGATION INSTRUMENTS IN ACCORDANCE WITH THE KT-160G/14G

Annotation. The relevance of the development of modern information and measuring devices for flight navigation systems for civil aviation is considered. Information about the materials of construction of certified products is provided. Test methods developed in accordance with the KT-160G/14G for resistance to mold, liquids and electrostatic discharge are presented. The test results using the developed methods are presented. The results obtained are assessed. The material in the article may be of practical utility for organizations that test technical devices as part of civil aviation certification.

Keywords: flight and navigation devices, qualification requirements, civil aviation, certification, test

Введение

Одним из наиболее важных направлений развития гражданской авиации в Российской Федерации на сегодняшний день является создание малогабаритных летательных аппаратов (ЛА) в целях освоения Арктики (перевозка людей и грузов в районах Крайнего Севера, определение толщины льда на ледовых аэродромах и на всем протяжении Северного морского пути), для обеспечения связанности отдаленных населенных пунктов в разных районах РФ (где отсутствуют подготовленные взлетно-посадочные полосы), и для решения специальных задач (патрулирование государственной границы и мониторинг состояния окружающей среды в интересах МЧС).

Обязательным условием эксплуатации таких ЛА является применение в составе их пилотажно-навигационных комплексов информационно-измерительных устройств, обеспечивающих экипаж необходимой для безопасного пилотирования информацией о пространственном положении ЛА: угловом положении (углы крена, тангажа и рыскания (курса)), скорости (приборная и вертикальная), высоте полета (абсолютная и относительная).

Однако, большинство применяемых в настоящее время электромеханических приборов с аналоговой выдачей информации (авиагоризонты, вариометры, указатели приборной скорости, механические высотомеры) морально устарело и не в полной мере отвечает современным требованиям по формированию облика кабины гражданских ЛА, в котором все бортовое оборудование связано цифровыми линиями связи для более глубокой интеграции (информационного взаимодействия), а индикация осуществляется на больших ЖК-индикаторах.

На Арзамасском научно-производственном предприятии «ТЕМП-АВИА» (г. Арзамас) разрабатывается ряд пилотажных приборов в виде самостоятельных комплектующих изделий для объектов, создаваемых в рамках обеспечения комплексной программы

развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года [1], т.е. для гражданской авиации.

Неотъемлемой частью процесса разработки изделий для гражданской авиации является не только создание конструкции самого технического устройства, но и прохождение процедуры сертификации (квалификации) под контролем Федерального автономного учреждения «Авиационный регистр Российской Федерации». Специалисты Авиарегистра РФ и специалисты назначаемого сертификационного центра – организации, аккредитованной в соответствии с федеральными авиационными правилами (ФАП) для участия в работах по сертификации с целью экспертной оценки результатов данных работ, руководствуются особыми нормативными документами: ФАП-21, НЛГ, Р-4754А, КТ-254, КТ-178С, КТ-160G/14G, Р-4761 и др. Должно быть подтверждено, что при разработке были использованы адекватные подходы и технические решения, при строгом соблюдении которых будет обеспечено высокое качество продукции. Основной целью при таком подходе является контроль правильности процедуры создания (разработки) изделия, а не оценка характеристик конкретного образца [2].

В то же время, разработку приборов, систем и агрегатов для объектов двойного или военного назначения промышленным предприятием авиационной отрасли контролируют специалисты военного представительства Министерства обороны Российской Федерации (ВП МО РФ), закрепленного за данным предприятием. Они осуществляют контроль создания изделий для гражданской авиации по «ГОСТ Р 58849-2020 Авиационная техника гражданского назначения. Порядок создания», но уже в статусе независимой инспекции (НИ) – подразделения, назначенного уполномоченным органом по сертификации для осуществления функций в соответствии с ФАП. Подтверждением высокого уровня качества и соответствия требованиям технического задания (ТЗ) разработанного изделия в таком случае будут являться результаты различных видов испытаний.

Несмотря на различия в подходах, декларируемых ГОСТ Р 58849-2020 и современными стандартами Росавиации (Р-4754А, КТ-254, КТ-178С, Р-4761), в обоих случаях обязательным условием является прохождение сертификационных испытаний, целями которых являются [3]:

- определение и подтверждение соответствия комплектующего изделия и его эксплуатационной документации требованиям квалификационного базиса (КБ)/ТЗ, установление типовой конструкции изделия и эксплуатационных ограничений, в пределах которых оно соответствует КБ;
- оценка функционирования установленной типовой конструкции изделия в ожидаемых условиях эксплуатации, оценка эксплуатационной документации.

И хотя на сертификационных испытаниях должно быть подтверждено каждое требование КБ /ТЗ, необходимо отметить, что ТЗ, разработанное в соответствии с ГОСТ Р 58849-2020 и удовлетворяющее требованиям ВП МО РФ – НИ, чаще всего, кардинально отличается от КБ – документа, содержащего требования к изделию с учетом требований стандартов и иных документов российских и международных авиационных организаций. Квалификационный базис – основной документ, утвержденный ФАУ «Авиационный регистр Российской Федерации», в котором содержатся общие положения о сертифицируемом изделии, технические требования, включая специальные технические условия и требования на внешние воздействующие факторы (ВВФ).

ВВФ и их виды устанавливаются как КБ, так и ТЗ, но в гражданской авиации нормы испытаний, параметры и величины регламентированы КТ-160G/14G, а в военной авиации – тактико-техническими характеристиками объекта, условиями его эксплуатации и внешней средой (включают в себя различные факторы, которые непосредственно влияют на уровень надежности пилотажно-навигационных систем и ЛА в целом) [4].

В работе речь пойдет об испытаниях на устойчивость к воздействию ВВФ по требованиям, нормам и методикам КТ-160G/14G, а конкретно – об испытаниях на воздействие загрязняющих жидкостей (Раздел 11, категория оборудования «F»), на грибоустойчивость (Раздел 13, категория оборудования «F») и воздействие электростатического разряда (Раздел 25, категория оборудования «A») [5]. Их можно объединить по следующему общему признаку: устойчивость ко всем перечисленными воздействиям в большей степени зависит от правильности применяемых в конструкции изделий материалов и покрытий (материалы и покрытия опытных образцов изделий производства АО АНПП «ТЕМП-АВИА» приведены в таблице 1). Поэтому результаты работы могут быть полезны не только разработчикам информационных систем для гражданской авиации, но и более широкому кругу технических специалистов.

Представленные ниже методики разработаны на основе обобщенных требований КТ-160G/14G и, в свою очередь, адаптированы для пилотажных приборов, устанавливаемых внутри фюзеляжа пилотируемых ЛА на приборной доске или на стойках

оборудования, успешно прошли апробацию в испытательных лабораториях, аккредитованных по требованиям Росавиации.

Характеристики материалов и покрытий опытных образцов Таблица 1

Материал/покрытие	Характеристика
Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	Дюралюминий, представляет собой материал с малым удельным весом, высокой пластичностью, малой тепло- и электропроводностью, повышенной прочностью
Сплав ЛС59-1 ГОСТ 15527-2004	Сплав меди и цинка с добавлением свинца, имеет высокую прочность и стойкость коррозии, а также химическую инертность в отношении агрессивных сред
Смесь резиновая НО-68-1-НТА ТУ 38 0051166-2015	Предназначена для изготовления маслобензостойких резинотехнических деталей (амортизаторов, уплотнителей и пр. элементов)
Смесь резиновая ИРП-1266-НТА ТУ 38 0051166-2015	Предназначена для изготовления формовых уплотнительных и электроизоляционных деталей
Трубка ИРП-1338НТА ТУ 38 1051959-90	Резиновый теплостойкий авиационный материал, предназначенный для изготовления уплотнительных и электроизоляционных деталей
Ан.Окс.тв. чёрный 30-40 мкм ГОСТ 9.301-86	Твердое анодно-оксидное покрытие, предназначенное для придания поверхности алюминиевого сплава высокой твердости и износостойкости
Хим.Н6-9 ГОСТ 9.303-84	Химическое никелирование, обладает высокой стойкостью к коррозии, износостойкостью и адгезией с основным материалом
Эмаль МЛ-158 (черная) ТУ 6-10-1096	Предназначена для окрашивания металлических поверхностей и придания им декоративно-защитных свойств, обладает долговечностью, эластичностью, свето- и водостойкостью
Эмаль МЛ-165, серебристая, IV.129 ОСТ 1 90055-85,	Предназначена для окрашивания металлических поверхностей, отличается высокой атмосферостойкостью, влагостойкостью, износостойкостью, препятствует появлению коррозии на поверхности. Используется в качестве основной эмали на большинстве приборов авиационной техники
Эмаль ЭП-572, черная ТУ 6-10-1539-76	Предназначена для маркировки деталей, изделий, обладает высокой адгезией и устойчивостью к механическим воздействиям, а также стойкостью к пониженным и повышенным температурам

1 Разработка методик испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов, загрязняющих жидкостей и электростатического разряда и их апробация

1.1 Грибоустойчивость

Суть данного испытания заключается в оценке влияния плесневых грибов на поверхности изделия на его работоспособность в процессе эксплуатации и хранения. Здесь надо ответить на вопрос: являются ли применяемые в конструкции изделий материалы питательной средой для плесневых грибов в условиях высокой влажности, повышенной температуры и при наличии неорганических солей? [6].

В начале испытаний изделие помещается в испытательную камеру с установленной температурой плюс 30 °С и относительной влажностью (97 ± 2) %. Все поверхности испытываемого изделия засеиваются суспензией из смеси спор путем распыления в виде мелкого тумана при помощи стерилизованного пульверизатора. После этого в испытательной камере проводится инкубация в течение 28 дней с поддержанием заданных климатических условий. При этом, периодически контролируется внешний вид изделия на пригодность условий для роста плесневых грибов. После окончания инкубации, изделие извлекается из испытательной камеры и осматривается его внешний вид под микроскопом при 56-60-х увеличении для оценки степени развития плесневых грибов на поверхности по 6-бальной шкале согласно таблицы 2.

В конце испытаний оценивается работоспособность изделия на соответствие нормативно-технической документации (НТД) или технических условий (ТУ).

В результате испытаний опытных образцов изделий производства АО АНПП «ТЕМП-АВИА» на стойкость к воздействию плесневых грибов, при осмотре невооруженным глазом на поверхности изделий рост грибов едва виден, но отчетливо виден под микроскопом при 56-60-х увеличении, что соответствует баллу «3» таблицы 2. После

этого изделия были проверены на работоспособность и получено, что параметры соответствуют ТЗ. Так как дополнительных требований к внешнему виду после испытаний на воздействие плесневых грибов не предъявляется, то можно сделать вывод, что изделия прошли испытания успешно.

Шкала оценки роста плесневых грибов Таблица 2

Балл	Характеристика балла
0	При осмотре под микроскопом рост плесневых грибов не виден
1	При осмотре под микроскопом видны проросшие споры и незначительно развитый мицелий в виде неветвящихся гиф
2	При осмотре под микроскопом виден мицелий в виде ветвящихся гиф, возможно спороношение
3	При осмотре невооруженным глазом рост грибов едва виден, но отчетливо виден под микроскопом
4	При осмотре невооруженным глазом отчетливо виден рост грибов, покрывающих менее 25 % поверхности
5	При осмотре невооруженным глазом отчетливо виден рост грибов, покрывающих более 25 % поверхности

1.2 Загрязняющие жидкости

Под загрязняющими жидкостями принято понимать такие жидкости, которые используются при эксплуатации летательного аппарата при полете и на земле. Примерами таких жидкостей могут служить растворители, дезинфицирующие средства, огнетушащие составы и противообледенительные жидкости. Поэтому разработчику необходимо определить, оказывают ли такие вещества негативное влияние на материалы конструкции и, как следствие, на работоспособность испытываемого изделия [7].

Были проведены испытания опытных образцов изделий на стойкость к воздействию загрязняющих жидкостей, приведенных в таблице 3. Испытания проводились методом обрызгивания поверхности, хотя существует также же метод погружения в загрязняющую жидкость, но он применяется к другим видам оборудования.

Перечень загрязняющих жидкостей Таблица 3

Классификация загрязняющей жидкости	Жидкость, используемая при испытании	Температура жидкости, °С
Растворители и очищающие жидкости	Изопропиловый спирт	50
Дезинфицирующие средства	Пропиленгликоль	23
Противообледенительные жидкости	Арктика-ДГ	23

Для каждой загрязняющей жидкости проводилось по три цикла испытаний.

В начале первого цикла изделия подготавливаются к работе согласно НТД (соединяются технологическим жгутом, но находятся в выключенном состоянии) и помещаются в испытательную камеру, затем обрызгиваются все наружные поверхности, в том числе, герметичные уплотнения и электрические соединители, загрязняющей жидкостью при температуре, указанной в таблице 3.

Обрызганные поверхности поддерживаются во влажном состоянии в течение 8 часов с последующей сушкой в течение 16 часов при температуре плюс 65 °С в испытательной камере. В конце первого цикла отсоединяются разъёмы изделий от соединителей технологического жгута и извлекаются из испытательной камеры для осмотра их внешнего вида на предмет ухудшения состояния материалов, защитных средств и физических изменений. На поверхности не должно быть следов коррозии и нарушения покрытий.

Аналогично проводятся второй и третий циклы испытаний.

По окончании третьего цикла испытаний в камере устанавливается комнатная температура, после чего изделие включается и проводится проверка его технических параметров.

По результатам проведения внешнего осмотра изделий, после испытаний на стойкость к воздействию загрязняющих жидкостей, следов коррозии и нарушений покрытия на поверхности корпуса изделия не обнаружено. Технические параметры, проверенные после испытаний, соответствовали требуемым по ТЗ. Следовательно, изделия прошли испытания на стойкость к воздействию загрязняющих жидкостей с положительным результатом.

1.3 Электростатический разряд

Одним из негативных факторов, который может привести к отказу бортовой радиоэлектронной аппаратуры, является воздействие статического электричества. Основной причиной возникновения статического электричества является контакт изделия с человеком как в условиях эксплуатации, так и при наземной отработке ЛА [8]. К другим причинам относят возникновение электростатического заряда вследствие трения между обшивкой самолета и атмосферой (например, при прохождении через облака или грозовые тучи). Трение приводит к переносу электронов из воздушных масс на поверхность ЛА [9], но на приборы, имеющие схожую область применения с испытываемыми, такой тип воздействия практически не влияет.

Схематично типовую установку для испытания на стойкость к воздействию электростатического разряда можно представить так, как показано на рис. 1.

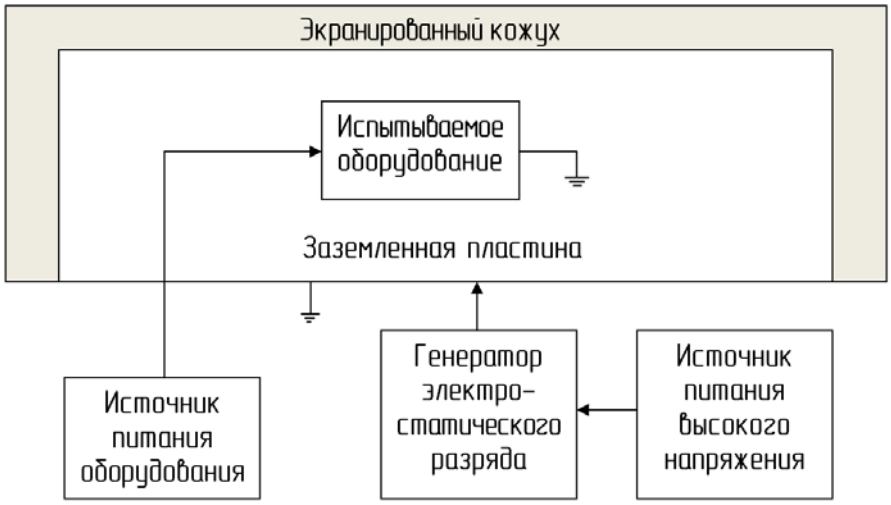


Рисунок 1 - Типовая установка для испытания на стойкость к воздействию электростатического разряда

Перед проведением испытания изделие подготавливается к работе и включается в соответствии с НТД или ТУ и помещается на заземленную пластину.

Затем изделие подвергается последовательному воздействию электростатических импульсов через разрядный электрод при заданном уровне напряжения 15000 В в контрольных точках. Последние выбираются на проводящих и непроводящих поверхностях областей органов управления (рукоятки, кнопки, кремальеры, индикаторы, корпуса соединителей) прибором, в которых человек имеет контакт с изделием. Так, на рис. 2 показаны контрольные точки 1-7 одного из испытываемых изделий.

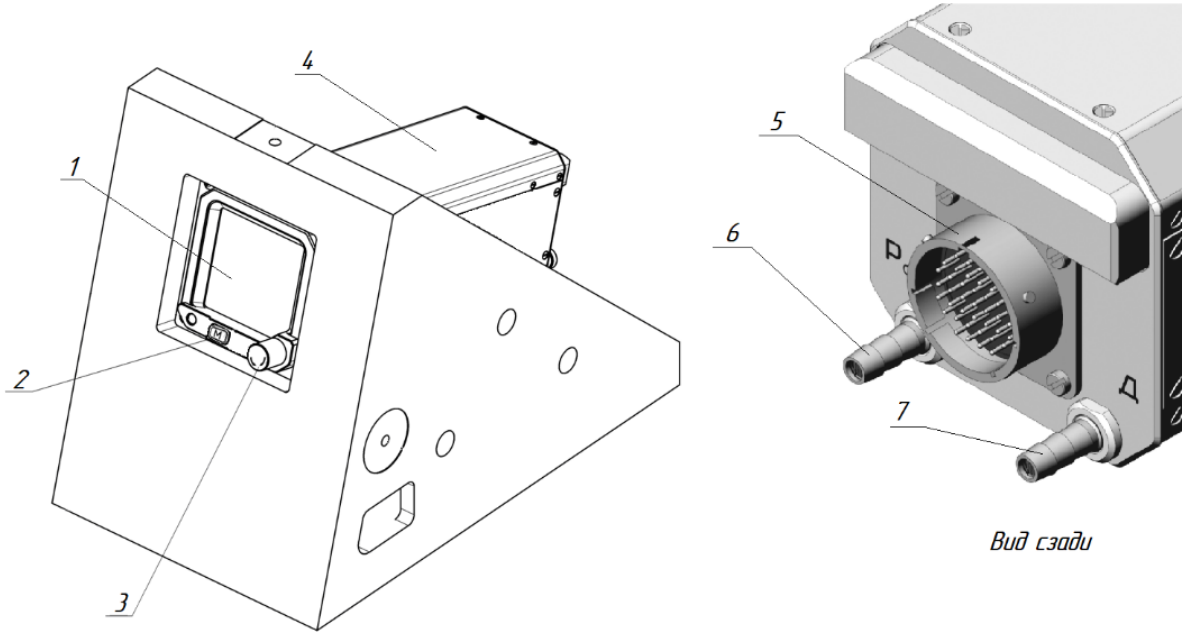


Рисунок 2 - Контрольные точки для воздействия электростатических разрядов

Наконечник генератора электростатического разряда двигается к контрольной точке изделия со скоростью 0,3 м/с до тех пор, пока не произойдет электрический разряд или наконечник не коснется поверхности изделия. После каждого разряда или попытки разряда, разрядный электрод генератора необходимо отводить от

контрольной точки, после чего генератор должен вновь заряжаться для следующего одиночного разряда. Испытания проводятся до тех пор, пока не будет выполнено в каждой из контрольных точек по десятку разрядов импульсов как положительной, так и отрицательной полярности напряжения.

По окончании испытания на воздействие электростатического разряда проводится проверка работоспособности изделия.

Во время испытания на стойкость электростатическому разряду контролировалась работоспособность изделия на отсутствие выдачи ложных сигналов и некорректной работы. Во всех контрольных точках при воздействии положительных и отрицательных импульсов некорректной работы изделия не выявлено. Однако при воздействии последнего из десяти положительных импульсов в контрольную точку № 1 на ЖК-индикаторе (рисунок 2) изменилась яркость изображения (уменьшился угол обзора) при взгляде сверху, а также наблюдалось однократное мерцание изображения. После перезапуска изделия вручную, яркость изображения при всех углах обзора, заявленных производителем ЖК-панели, восстановилась.

Анализ причин возникновения вышеуказанного недостатка показал, что покрывающая рамку ЖК-индикатора эмаль МЛ-158 является диэлектриком, вследствие чего статический заряд не заземляется, что, предположительно, могло стать причиной некорректной работы ЖК-индикатора. Несмотря на все достоинства данной эмали, в данном случае, непроводимость электричества является негативным фактором., поэтому предложено заменить эмаль МЛ-158. В ближайшее время по результатам корректирующих мер будут проведены повторные испытания.

Заключение

1.В работе описаны методики и приведены результаты испытаний по разделам 11.0, 13.0, 25.0 Квалификационных требований КТ-160G/14G, а также проанализированы причины выявленных недостатков.

2.Основываясь на полученных результатах испытаний, можно утверждать, что практически все применяемые в конструкциях изделий материалы устойчивы к внешним воздействующим факторам, а сами изделия соответствуют требованиям ТЗ на разработку.

3.Результаты работы могут иметь практическую ценность для организаций и предприятий, которые проводят испытания разрабатываемых изделий гражданской авиации по Квалификационным требованиям КТ-160G/14G.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правительство России. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.06.2022 г. № 1693-р. [Электронный ресурс] URL: http://government.ru/docs/all/141773/ (дата обращения 11.04.2024).

2. Клоков И. И., Маслов И. С., Столяров В. Д., Корнилов А. В. Проблемы создания авионики для объектов гражданской авиации на предприятиях оборонно-промышленного комплекса // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия отечественной гражданской авиации. Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА. 2023. № 1. С. 236-241.

3. Федеральные авиационные правила. Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей. Часть 21: дата введения 2019-06-19 // Минтранс России, 2019.

4. Мищенко В. И., Демин А. П., Корбут В. А. Исследование и классификация эксплуатационных факторов, влияющих на обеспечение надежности радиоэлектронных средств вооружения военной техники // Надежность и качество сложных систем. 2021. № (3) 35. С. 32-39.

5. Квалификационные требования КТ-160G/14G. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. Требования, нормы и методы испытаний. // Авиационный регистр межгосударственного авиационного комитета, 2014.

6. Хорова Е. А., Третьякова Н. А., Вакулов Н. В. Исследование стойкости резин к воздействию плесневых грибов // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 3 (64). С. 128-132.

7. Гришин М. В., Рудковский Ю. А., Бобин А. А., Барцайкин А. Г. Разработка технологического оборудования для испытания образцов материалов на загрязняющие жидкости согласно КТ-160G // Известия Самарского научного центра РАН. 2021. № 23 (6). С. 83-93

8. Китаев В. Н., Дремков М. А., Уралев А. А. Электрический соединитель с функцией защиты от статического электричества // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 1 (41). С. 55-61.

9. Соколов О. А., Басыров Т. А. Защита самолетов от электростатического заряда и электрических разрядов // Молодой ученый. 2023. № 14 (461). С. 26-29.

УДК 630

Мироненко[1] В.В., Абразумов[2] В.В., Токарева[3] О.В., Новиков[4] Н.Н.

[1,2,3] Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

[4] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[3] oliatok@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Аннотация. Рассматриваются перспективные возможности развития беспилотных летательных аппаратов в системе МЧС России и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, лесные пожары, передача данных

Mironenko[1] V.V., Abrazumov[2] V.V., Tokareva[3] O.V., Novikov N.N.

[1,2,3] Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

[4] Penza State University, Penza, Russia

[3] oliatok@mail.ru

PROSPECTS FOR THE USE OF UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES IN FIGHTING FOREST FIRES

Annotation. Promising opportunities for the development of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the system of the Ministry of Emergency Situations of Russia of the Ministry of Civil Defense, Emergency Situations and Disaster Relief are being considered.

Keywords: unmanned aerial vehicles, forest fires, data transmission

Введение

Площади лесных массивов в Российской Федерации занимают около половины всей площади страны и составляют более 800 млн. га. В последние десятилетия большим бедствием для лесного фонда стали лесные пожары. Ежегодно регистрируется от 10 до 35 тыс. лесных пожаров, охватывающих площади от 0,5 до 2,5 млн. га. Огнем уничтожаются целые населенные пункты, погибают не только птицы и животные, но и люди [1-3].

Развитие современных технологий способствует появлению новых технических средств, которые способны обнаруживать лесные пожары в режиме реального времени. Перспективными и эффективными средствами обнаружения лесных пожаров является использование беспилотных летательных аппаратов. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – это летающие устройства, выполняющие полёты с целевой нагрузкой без пилота на борту, которые дистанционно управляются из определённого места с земли или с борта самолета.

Стоит отметить, что важным этапом для прогресса в области мониторинга и картографирования подстилающей поверхности можно считать применение беспилотных летательных аппаратов. Модернизация аппаратуры для видео/фотосъёмки и носителей полезной нагрузки для проведения мониторинга за подстилающей поверхностью позволяет вести ДЗЗ с аэростатов, дирижаблей, искусственных спутников Земли, пилотируемых, а также беспилотных летательных аппаратов [4].

БПЛА позволяют получать информацию о зоне бедствия без риска для жизни и здоровья людей, что делает их необходимым инструментом для МЧС России (Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий). Это приводит к своевременному принятию мер по тушению пожаров, а так же к снижению наносимого ущерба народному хозяйству. Перспективными направлениями использования БПЛА в лесном хозяйстве являются: 1. Информационная поддержка оперативных штабов по тушению крупных лесных пожаров, в том числе в сложных и чрезвычайных условиях. 2. Информационная поддержка наземных сил с применением БПЛА микрокласса [5].

БПЛА способны обнаруживать горячие точки на поверхности земли, что помогает сосредоточить усилия по тушению в наиболее критических зонах. БПЛА, как правило, оборудованы камерами и другими сенсорными устройствами, которые можно использовать для получения изображений пожаров с воздуха, оценки их масштаба, интенсивности горения, о направлении распространения огня и местоположении ближайших водоисточников. Помимо этого, беспилотные летательные аппараты позволяют собирать разного рода данные и параметры, например, температуру, влажность и состав воздуха. Если БПЛА оборудован тепловизорами, то значительно повышается эффективность использования данного устройства.

Некоторые специализированные БПЛА оборудованы системами для непосредственного участия в тушении пожара, как для поверхностного, так и для объемного. В этих системах могут использоваться различные способы ликвидации пожара на начальном этапе, такие как:

- бомбы противопожарные или картриджи с огнетушащими веществами, содержащими воду, пенообразующие вещества или другие химические реагенты;

- специальные устройства для распыления воды или огнетушащих химикатов на пламя.

БПЛА могут использоваться для доставки жизненно важного оборудования к линиям огня, такого как средства пожаротушения, инструменты, средства связи и медицинской помощи, что незаменимо в труднодоступных районах.

БПЛА применяются для передачи данных в реальном времени и координации усилий между различными пожарными отделениями. Они способны получать и передавать видео- и фотоматериалы высокого качества. С помощью данных, собранных БПЛА, можно создавать модели поведения пожаров, что поможет улучшить стратегии тушения и предотвращения пожаров в будущем.

Кроме того, возможно применение данных устройств для проведения контролируемых выгораний, что уменьшает накопление горючих материалов и снижает риск возникновения крупных пожаров. БПЛА могут быть оснащены прожекторами для освещения районов, пострадавших от пожаров, облегчая тушение в ночное время. Позволяют оценить обстановку возможной угрозы ближайшим населенным пунктам. После тушения пожара БПЛА могут использоваться для оценки ущерба и анализа последствий, нанесенного лесными пожарами, что помогает в восстановлении лесных массивов. Для применения на лесных пожарах БПЛА обычно изготавливаются из легких и прочных материалов, таких как углепластик или алюминий, чтобы обеспечить долговечность и маневренность [6-10].

Развитие беспилотных летательных аппаратов для применения их в зонах лесных пожарах предоставляет широкие перспективы. Использование БПЛА в борьбе с лесными пожарами может значительно повысить эффективность операций и помочь минимизировать ущерб от пожаров. Такие беспилотные аппараты особенно полезны в труднодоступных или опасных местах, где традиционные методы тушения огня могут быть затруднены. Использование аэромобильной группировки может быть эффективным в различных ситуациях, но применение беспилотных летательных аппаратов часто бывает более экономически целесообразным. Применение беспилотных летательных аппаратов наиболее оптимально для целей пожаротушения и разведки при задействовании минимального количества личного состава. На рисунке 1 представлены текущее состояние и прогнозы развития отрасли беспилотных авиационных систем в России [5].



** по данным Национальной технологической инициативы и Ассоциации «Аэронекст»

Рисунок – 1. Текущее состояние и прогнозы развития отрасли беспилотных авиационных систем в России

Заключение

Развитие беспилотных летательных аппаратов для применения на лесных пожарах предоставляет широкие перспективы. Использование БПЛА в борьбе с лесными пожарами может значительно повысить эффективность операций и помочь минимизировать ущерб от пожаров. Усовершенствование и развитие БПЛА может сделать их более точными, быстрыми и эффективными инструментами противостояния лесным пожарам. Самое главное преимущество – быстрое реагирование и манёвренность. Такие беспилотные аппараты особенно полезны в труднодоступных или опасных местах, где традиционные методы тушения огня могут быть затруднены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Позигун К.О., Савонина А.В., Ткачева А.В., Прохоров В.Ю. Классификация и виды лесных пожаров в Российской Федерации. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 1. С. 183-188.
2. Антипова А.С., Прохоров В.Ю. Классификация пожаров и техническое оборудование в подразделениях пожарной охраны России. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 1. С. 194-197.
3. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. Определение и понятия "чрезвычайная ситуация" Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2022. Т. 1. С. 87- 89.
4. Харламов В.В. Технологии беспилотных летательных аппаратов для сбора информации сфер человеческой деятельности на примере производителей и эксплуатантов в Казахстане / В. В. Харламов, М. Б. Абитова, Н. А. Долженко, Д. С. Ергалиев // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2022. Т. 2. С. 112-114.
5. Чистяков, С.А. Перспективы применения БПЛА для обнаружения лесных пожаров на территории заповедника «Кологривский лес». Доклады ТСХА : Сборник статей, Москва, 02-04 декабря 2020 года. Выпуск 293. Часть IV. Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева. 2021. С. 329-331.
6. Абразумов В.В., Фролов С.В., Токарева О.В., Прохоров В.Ю. Перспективные огне- и теплозащитные материалы аэрогельного типа. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2022. Т. 2. С. 10-13.
7. Прохоров В.Ю., Голубев И.Г., Быков В.В. Использование новых материалов при модернизации техники. Ремонт, восстановление, модернизация. 2006. № 3. С. 18-20.
8. Абразумов В.В., Фролов С.В., Токарева О.В. Перспективы применения композиционных огнезащитных материалов в условиях лесных пожаров. Информационно-технологический вестник. 2021. № 4(30). С. 137
9. Голубев И.Г., Прохоров В.Ю. Модернизация транспортных и технологических машин с помощью альтернативных материалов. Лесная промышленность. 2004. № 4. С. 24-27.
10. Прохоров В.Ю. Исследование физико-химических и трибологических характеристик углерод-углеродных композиционных материалов. Техника и оборудование для села. 2014. № 4 (202). С. 20-23.

УДК 62-50

Крюков[1] О.В., Саушев[2] А.В., Тырва В.О.

[1] ООО «ТСН-электро», Нижний Новгород, Россия

[2,3] Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, Россия

[1] o.v.kryukov@mail.ru

[2] saushev@bk.ru

[3] v.tyrva@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Аннотация. Рассматриваются интеллектуальные методы управления применительно к транспортным эргатическим системам. Вводится понятие антропоморфного управления, как развитие ситуационно-целевого управления применительно к системам «человек - машина». Рассматривается задача конструирования совместного управления на примере движения судна в эргатической системе «судоводитель - судно». С целью унификации антропоморфного управления движением судна на уровнях целеуказания и планирования предложено применять шаблоны из нескольких сигналов дискретного управления.

Ключевые слова: эргатическая система, интеллектуальное управление, антропоморфное управление, модель, шаблоны управления, судно

Kryukov[1] O.V., Saushev[2] A.V., Tyrva[3] V.O.

[1] TSN-electro LLC, Nizhny Novgorod, Russia

[2,3] Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia

[1] o.v.kryukov@mail.ru

[2] saushev@bk.ru

[3] v.tyrva@mail.ru

INTELLIGENT MANAGEMENT METHODS IN TRANSPORT ERGATIC SYSTEMS

Annotation. Intelligent control methods are considered in relation to transport ergatic systems. The concept of anthropomorphic management is introduced as the development of situational and target management in relation to human-machine systems. The problem of designing joint control is considered on the example of ship movement in the ergatic system "skipper-ship". In order to unify the anthropomorphic control of the vessel's movement at the levels of target designation and planning, it is proposed to use templates from several discrete control signals.

Keywords: ergatic system, intelligent control, anthropomorphic control, model, control patterns, ship

Введение. При решении задач синтеза эргатических систем «человек-машина» (СЧМ) на транспорте и в других областях с целью обеспечения автоматизации процесса управления достаточно широкое применение получил ситуационный подход, как один из важнейших методов интеллектуального управления. Результатом экспериментальных исследований в этом направлении явилось понятие *ситуационная модель* и *ситуационное управление* как формальное описание управляемого объекта в СЧМ с помощью ситуаций, в которых ему предстоит действовать [1].

В начальный период развития данного подхода понятие ситуация отождествлялась с состоянием управляемого объекта СЧМ. В дальнейшем было введено понятие *текущая ситуация* путем добавления в исходное понятие сведений о структуре объекта и его функционировании в конкретный, выделенный момент времени. Ситуационный подход получил дальнейшее развитие в сочетании с многоцелевым принципом управления. Этот принцип основан на методах морфологического анализа и предусматривает разбиение главной цели управления на подцели, которые формализуются в виде локальных целей управления применительно к отдельным ситуациям [2, 3]. Отсюда следует, что формируемые стратегии управления являются прогностическими, учитывающими возможные сценарии ожидаемого будущего развития ситуации. Соответствующее управление получило название *ситуационно-целевого управления*. Оно сводится к решению последовательности задач: планирование; мониторинг ситуаций; генерация локальных целей; формирование стратегии управления; управление динамикой состояния СЧМ, например, в приложении к транспортным объектам [2].

Одновременно со становлением методологии ситуационного управления развивалось направление исследований, опирающееся на фундаментальные законы механики и на формализацию моделей движения объекта, достигающего поставленной цели. При этом конкретной обстановке соответствует некоторое представление движения, которое может быть неполным в том смысле, что не является законом движения. Неполное представление движения конструктивно в том отношении, что ему соответствует некоторая цель. Последовательность кусочных неполных представлений может быть формализовано как отображение ситуационно-целевого управления [4].

Введенное понятие неполных представлений движения открывает возможность применения взаимосоответствующих вербальных и формальных описаний процессов ситуационно-целевого управления в СЧМ. Поэтому формализация ситуационно-целевого

управления на основе механистического подхода к моделированию движений, достигающих цели, может служить основанием для применения математических методов оптимизации управлений в СЧМ в расчете на использование экспертной системы при интеллектуализации управляющего автомата (УА) СЧМ [5]. Для водного транспорта концепция совмещенного управления развивается, например, в приложении к эргатической системе «судоводитель-судно».

Материалы и методы

Изначальной задачей эргатических систем управления считалась задача правильного распределения функций управления между человеком-оператором (ЧО) и управляющим автоматом (УА). В дальнейшем с развитием теории планирования взаимодействия внимание исследователей акцентировалось на композиции функций управления ЧО и УА с использованием человеко-машинного интерфейса (ЧМИ).

Экспериментальные исследования транспортных эргатических систем, например, режимов движения судов в условиях повышенной опасности показали, что судоводитель, он же (ЧО), в оперативном порядке планирует не только движение судна, но и действия по управлению движением в зависимости от сложившейся ситуации и принимает субъективное и, по его мнению, наилучшее решение [4]. Такое решение и последующие действия ЧО учитывают возможности их реализации с помощью органов управления ЧМИ и, обязательно, последствия воздействий (обычно мускульных) на органы управления. Эти данные явились причиной введения в математическую модель объекта СЧМ параметров состояния органов управления ЧМИ, характеризующих не саму мозговую деятельность ЧО, а ее результат. При этом в технической реализации ЧМИ предполагалось использование совмещение во времени управляющих воздействий ЧО и УА через орган управления ЧМИ [4, 6]. В таком случае действия УА как бы «очеловечиваются» в связи с чем синтезируемое автоматом управление получило название *антропоморфного управления* [7]. Такое управление можно рассматривать как вариант ситуационно-целевого управления, так как ему ставится в соответствие полная система целей в стратегии управления, начиная от главной цели на некотором отрезке жизненного цикла СЧМ до последовательности элементарных целей, а также и промежуточных, входящих в главную цель [8].

Исследования показали, что через параметры состояния органов управления ЧМИ можно установить соответствие целей антропоморфного управления ситуациям и неполным представлениям движения [8]. Это обстоятельство используются далее в решаемой задаче создания методики конструирования шаблонов антропоморфного управления объектом СЧМ, в которые закладывается оптимальность управления по выбранным критериям оптимальности. Задача рассматривается в общей постановке на основе примера системы «судоводитель-судно».

Синтез шаблонов антропоморфного управления объектом

На первом этапе конструирования управления объектом СЧМ осуществляется построение математической модели объекта в пространстве состояний с использованием механистического подхода к моделированию [9]. В векторно-матричной форме записи для объекта с сосредоточенными параметрами можно записать:

$$\dot{X} = F(X, U), \qquad (1)$$

где X, U – векторные переменные, которые изменяются во времени t. Они представляются матрицами-столбцами фазовых координат x_1, x_2, ..., x_n и параметров управления u_1, u_2, ..., u_m соответственно, входящими в вектор-функцию $F(X, U)$. Точкой над буквой X обозначено выполнение операции дифференцирования фазовых координат по времени t.

Конкретизируем векторное дифференциальное уравнение (1) для продольного движения судна [7]:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= a_1 x_2^2 + (a_2 x_2 + a_3)u. \end{aligned} \qquad (2)$$

Параметры состояния: x_1 – координата цента масс судна в неподвижной системе координат (вдоль продольной оси судна); x_2 – скорость продольного движения судна (принимаем условие $x_2 \geq 0$). Управление u – упор движителя (винта), действующий в направлении продольной оси для координаты x_1; a_1, a_2, a_3 – коэффициенты, числовые значения которых зависят от осадки судна T и глубины судового хода H. Расчетные значения коэффициентов для судна типа "Волго-Дон" приведены в табл. 1.

Для всех реальных значений скорости x_2 получаем условие $(a_1 x_2 + a_3) > 0$. Обычно учитывается ограничение скорости движения $x_2 \leq W = \text{const} > 0$. Величина упора винта u находится в пределах, заданных неравенствами $-0{,}56 \leq u \leq 1$, причем при отрицательных значениях u, когда $x_2 > 0$, происходит торможение движения судна.

Метод принципа максимума Л. С. Понтрягина предоставляет возможность рассчитать на следующем этапе конструирования управления оптимальную зависимость упора винта $u = u_{оп}(t)$ от времени t в классе кусочно-непрерывных функций в результате решения специальной вариационной задачи. Функция времени $u_{оп}(t)$ оптимального по быстродействию управления показана на рис. 1 как результат решения задачи перемещения судна на некоторое (достаточно большое) расстояние из одного состояния неподвижности $x_2=0$ при $t=t_1$ в другое состояние неподвижности при $t=t_f$ за минимальное время, равное разности $t_f - t_1$. Характер приведенной зависимости при $f=4$ (четыре разрыва функции в моменты времени t_1, t_2, t_3, t_4) не изменяется с увеличением разности $x_1(t_4) - x_1(t_1)$. Изменяются только положения точек разрывов функции на оси времени. Отметим также, что вид графика $u=u_{оп}(t)$ будет сохраняться и для решения задачи оптимального управления перемещением судна на максимальное расстояние $x_1(t_4) - x_1(t_1)$ (другой критерий) за заданное время, т.е. когда значения t_1 и t_4 считаются фиксированными.

Расчетные значения коэффициентов дифференциальных уравнений (2) Таблица 1

Коэффициент	Единица измерения	Множитель	Осадка судна T, м					
			1,5		2,5		3,5	
			Глубина H, м		Глубина H, м		Глубина H, м	
			10	20	10	20	10	20
a_1	$м^{-1}$	10^{-3}	-2,39	-2,22	-1,75	-1,55	-1,03	-0,88
a_2	$с^{-1}$	10^{-2}	-1,79	-1,79	-0,46	-0,46	-0,18	-0,18
a_3	$мс^{-2}$	10^{-1}	2,18	2,18	0,93	0,93	0,40	0,40

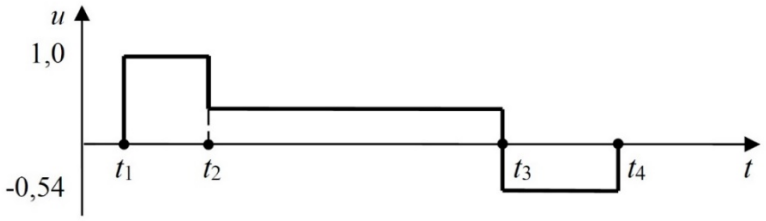


Рисунок 1 - Функция времени оптимальных управлений перемещением судна

Для практического использования полученного решения задачи оптимального управления на третьем этапе конструирования управления требуется решить вопрос о физической реализации функции $u_{оп}(t)$ в СЧМ для точек ее разрывов. Такую возможность в общем случае предоставляют математические модели управляющих воздействий ЧО на органы управления ЧМИ, полученные в [4]. Их использование приводит к замене математической модели (1) на другую модель в виде множества неполных представлений элементарных движений изображающей точки по траектории в пространстве состояний СЧМ:

$$Z = \{\dot{X} = F^r(X),\ r = 1,\ 2,\ \ldots,\ R\}. \qquad (3)$$

Количество R элементов множества Z зависит от числа и вида органов управления ЧМИ. Все элементы множества Z попарно различны. Размерность вектора X в выражении (3) больше, чем в формуле (1) за счет введения в него фазовых координат, характеризующих состояние органов управления ЧМИ. Например, для модели (2) при использовании многопозиционного органа управления упором гребного винта судна, рассмотренного в работе [4], элементы множества Z представлены в табл. 2. Значения положительных величин $\omega_в$ и $\omega_н$ определяются для конкретных аппаратов ручного управления ЧМИ по экспериментальным данным.

Элементы множества Z неполных представлений элементарных движений Таблица 2

r=1	r=2	r=3
$\dot{x}_1 = x_2$ $\dot{x}_2 = a_1 x_2^2 + (a_2 x_2 + a_3) x_3$ $\dot{x}_3 = \omega_B$	$\dot{x}_1 = x_2$ $\dot{x}_2 = a_1 x_2^2 + (a_2 x_2 + a_3) x_3$ $\dot{x}_3 = 0$	$\dot{x}_1 = x_2$ $\dot{x}_2 = a_1 x_2^2 + (a_2 x_2 + a_3) x_3$ $\dot{x}_3 = -\omega_H$

Модель (3) является основой для построения антропоморфного управления и системы целей в человеко-машинной системе на завершающем этапе конструирования управления. Для рассматриваемой задачи управления продольным движением судна результат перехода от функции управления, показанной на рис. 1, к реализации

антропоморфного управления в виде неполного представления движения органа управления показан на рис. 2.

Построенное антропоморфное управление сохраняет свойство оптимальности, обеспеченное решением классической задачи оптимального быстродействия. Таким образом, неполное представление антропоморфного управления можно записать компактным образом в виде последовательности номеров элементов множества (3). Техническая реализация такого управления осуществляется с помощью аппарата совместного управления ЧМИ [4].

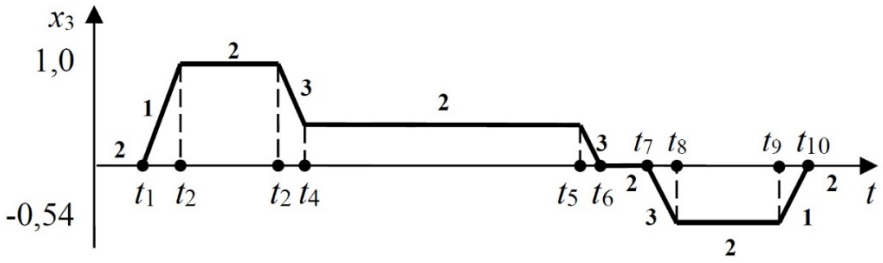


Рисунок 2 - Графическое отображение антропоморфного управления движением судна по критерию максимального быстродействия

Заключение

Анализ результатов конструирования антропоморфного управления динамикой состояния системы «судоводитель-судно» показывает, что неполное представление антропоморфного управления не изменяется (сохраняет форму на графике) при различных значениях осадки судна *T* и глубин судового хода *H*, которые указаны в табл. 1. Поэтому построенное неполное представление антропоморфного управления движением судна можно рассматривать в качестве шаблона антропоморфного управления. Такой шаблон может быть использован не только в решении задачи оптимального по быстродействию перемещения судна при смене позиций в результате продольного движения судна, но и, как было отмечено, при определении оптимального управления перемещением судна на максимальное расстояние за заданное время.

Рассмотренная методика конструирования шаблонов антропоморфного управления в СЧМ отражает один из возможных подходов к формированию базы знаний экспертной системы сведениями о типовых элементах ситуационно-целевого управления. Она построена на основе методов теории оптимального управления [5, 10] и композиции ситуационного и механистического подходов к планированию управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. - М.: Наука. - Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1986. - 288 с.

2. *Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б.* Ситуационный подход в задачах автоматизации управления техническими объектами // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2018. - Т. 19. - № 9. - С. 563-578.

3. Юрков Н.К., Бецков А.В., Самокутяев А.М. Мультиагентное управление сложными динамическими системами // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Т. 1- Пенза: ПГУ, 2023. - С. 6 - 12.

4. Тырва В.О., Саушев А.В. О реализации совмещаемых управляющих воздействий на объект в системах "человек-машина" // Мехатроника, автоматизация, управление. –2020. — Т. 21. — № 5. — С. 274-281.

5. Дивеев А.И., Шмалько Е.Ю., Барабаш А.В. Полное решение задачи оптимального управления // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Т. 1- Пенза: ПГУ, 2023. - С. 96 - 102.

6. A. Saushev, V. Tyrva and L. Kovtun. Joint control actions on electromechanical devices in ergatic systems / E3S Web Conf. Volume 135, 2019. Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019). Section Environmental Engineering. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913501006.

7. Tyrva V.O., Saushev A.V., Shergina O.V. Anthropomorphic Control over Electromechanical System Motion: Simulation and Implementation // 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). — IEEE, 2020. — Pp. 374-379. DOI: 10.1109/RusAutoCon 49822.2020.9208070.

8. Тырва В.О., Саушев А.В. Целеуказание совместного управления в системе «человек-машина»: моделирование и структуризация // Мехатроника, автоматизация, управление. –2023. - Т. 24. - № 2. - С. 67-74.

9. Тырва В.О., Саушев А.В. Аналитический подход к конструированию совместного управления движением эргатической системы «судоводитель-судно» // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2021. - Т. 22. - № 9. - С. 459-467.

10. Дивеев А.И. Софронова Е.А., Бобков А.А. Качественное решение задачи оптимального управления группой динамических объектов // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Т. 1- Пенза: ПГУ, 2023. - С. 208 - 211.

УДК 681.5.01:629.73

Гуляков[1] С.В., Митрофанов[2] И.Ю., Караменгеров[3] Т.

[1,2] Пензенский Государственный Университет, Пенза, Россия

[3] Военный институт Сил [2]Воздушной обороны Республики Казахстан, Актобе, Казахстан

[1] lemur169@gmail.com

[2] tsenergo@mail.ru

[3] timur12512@yandex.kz

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

Аннотация. Предложен обзор современного состояния беспилотных авиационных систем. Проанализировано англо-французское соглашение о беспилотных авиационных системах. Оценены перспективы создания единой платформы беспилотных систем. Дан анализ современного уровня промышленной кооперации. Оценена вероятность успешного развития гражданского сегмента, даны примеры их реализации. Показано, что дальнейшее развитие технологии беспилотных авиационных систем приведёт к развитию интегральных схем и интеграционных процессов.

Ключевые слова: беспилотная авиация, перспективы развития, двигательные установки, система навигации, система управления

Gulyakov[1] S.V., Mitrofanov[2] I.Yu., Karamengerov[3] T.

[1,2] Penza State University

[3] Military Institute of Air Defense Forces of the Republic of Kazakhstan, Aktobe, Kazakhstan

[1] lemur169@gmail.com

[2] tsenergo@mail.ru

[3] timur12512@yandex.kz

Annotation. An overview of the current state of unmanned aircraft systems (UAS) is provided. The Anglo-French agreement on ALS is analyzed. The prospects for creating a unified platform for unmanned systems are assessed. An analysis of the current level of industrial cooperation is given. The possibilities of obtaining benefits from the development of the current segment as a result of their implementation are assessed. It is shown that further development of UAS technology leads to the development of integrated circuits and the development of integration processes.

Keywords: unmanned aircraft, development prospects, propulsion systems, navigation system, control system

Введение

Беспилотные летательные аппаратов (БПЛА) являются катализатором развития промышленной базы, обеспечивая развития как технических, так и программных систем. Большинство стран мира делает упор на создание перспективных БПЛА систем навигации и управления. Это повлечет за собой появление новых подходов и перспектив создания целого класса беспилотных летательных систем. Одновременно с этим разнообразие БПЛА влечет бурное развитие мелкосерийного производство отдельных вариантов. Появление гражданского рынка подчеркивает проблемы, с которыми сталкиваются традиционные аэрокосмические компании [1].

В настоящее время реализуется несколько важных программ развития беспилотной авиационной системы (БАС), при этом существует опасность фрагментации рынка и излишнего развития мелкосерийного производства. Существует серьезная опасность того, что Россия станет зависимой от иностранных платформ. Очевидно, что, если Россия не предпримет усилия по развитию унифицированных платформ беспилотной авиации в ближайшее время, то она может потерять один из самых динамичных оборонных и аэрокосмических рынков XXI века. Для этого необходимо принятие комплексного системного подхода к интеграции инженерных разработок оборудования и услуг широкого круга гражданских и военных разработчиков.

Рассмотрим перспективы развития беспилотной авиации. Мир производителей платформ для БПЛА широк и выходит далеко за рамки обычных основных производителей аэрокосмической отрасли. Но с точки зрения текущего развертывания БПЛА, запланированных бюджетных ассигнований на закупку и исследования БПЛА, а также масштаба созданной производственной базы, западные страны являются основным игроком в бизнесе БПЛА. Израиль занял безопасную нишу и свою платформу [2].

На рисунке 1 дан вариант широко распространенного БПЛА США.

Принятая форма самолетного типа является предпочтительной для многих приложений. Подобная форма используется во всем мире в качестве основы для нескольких национальных программ. В этом отношении, если развитие промышленной базы БАС действительно представляет собой трансформацию оборонной промышленности, многие страны производители идут по этому пути.

В Европе имеется ряд активных и инновационных программ. Ведущие производители аэрокосмической и оборонной промышленности занимаются приобретением необходимых

технологий; и существует четкое признание важности создания возможностей БПЛА - точка зрения, одобренная Европейским оборонным агентством.



Рисунок 1 - Безоружные Predator-B Таможенно-пограничной службы США

Англо-французское соглашение о БАС

Как мы уже отмечали, существует несколько европейских национальных и международных программ БАС, но прогресс был неоднородным и не имел сплоченности. Однако существует настоятельная потребность в международном сотрудничестве.

Недавно заключенное англо-французское соглашение о БАС легло в основу формальной связи между двумя странами. Соглашение сосредоточено на разработке БПЛА самолетного типа в качестве демонстратора передовых технологий. Программа Telemos стоимостью 1,45 миллиарда долларов предусматривала сотрудничество компаний Thales и Selex UK в области датчиков и других устройств [3].

Эти предварительные контакты были подтверждены Соглашением Ланкастер-хауса от 2012 года, в котором содержалось конкретное упоминание о сотрудничестве в области технологий БПЛА. И Великобритания, и Франция, но особенно Великобритания, стали активными пользователями БПЛА. У них есть активные программы БПЛА, но они по-прежнему сильно зависят от американских платформ в текущих операциях по созданию БПЛА класса MALE (Medium Altitude Long Endurance). В обеих странах растет осознание необходимости освоения технологии БПЛА для поддержания отечественного боевого воздушного потенциала.

На рисунке 2дан пример беспилотной системы класс MALE.

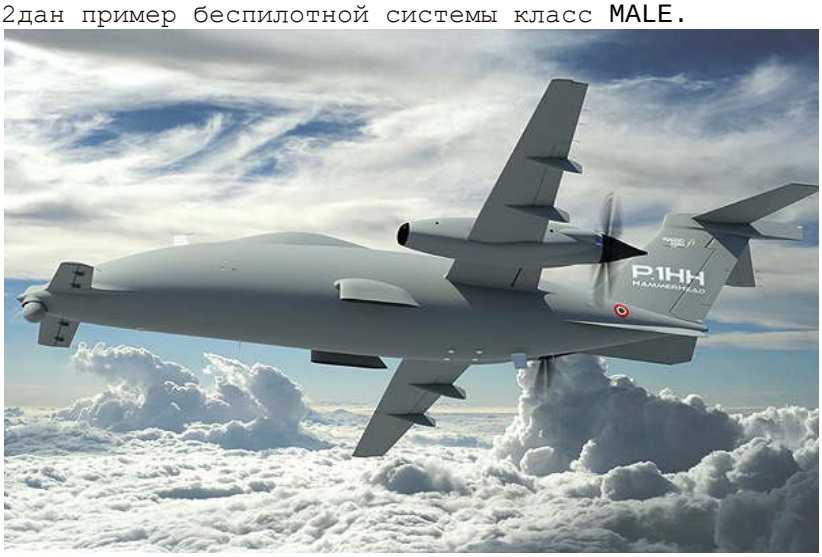


Рисунок 2 - Беспилотная авиационная система HammerHead. Производства Пьяджо Аэро

Эти страны продолжают сотрудничество в создании силовых установок и средств навигации. Аналогично, двусторонняя программа предполагает более простой подход к закупкам и управлению проектами. Однако европейская ситуация с БПЛА — это не просто двустороннее дело с участием Великобритании и Франции; в этом также участвуют как минимум два других ключевых игрока — Германия и Италия. Существует также главный вопрос: будет ли англо-французский заказ достаточным, чтобы оправдать стоимость более сложной и дорогой будущей программы БПЛА.

Перспектива англо-французской программы повысила интерес Италии в участии в данной программе, которая хотела-бы перестать быть младшим партнерам. В принципе, Европа, несомненно, имеет промышленную базу, способную поддерживать мощный потенциал БАС. Однако уже очевидно, что Европе придется усердно работать, чтобы избежать вечной ловушки дублирования и избыточности. Существуют мощные промышленные и политические интересы в поддержке «суверенных» возможностей, и европейская промышленная политика может нанести ущерб перспективам запуска последовательного набора совместных программ БПЛА [4].

Начиная с 2012 года англо-французская инициатива начала развиваться в направлении более широких европейских усилий. Тем не менее, национальные программы или пересекающиеся европейские предприятия по-прежнему конкурируют за ресурсы, рискуя расколоть европейский рынок. Не сумев добиться обязательств от Франции.

Правительства Германии и Испании договорилась о совместной разработке беспилотных авиационных систем. Важно отметить, если Европа хочет развить компетенцию мирового уровня в технологиях и производстве БПЛА следующего поколения, поддерживающая промышленная система также должна быть открытой и доступной для более широкого круга игроков, в том числе из-за пределов региона. Это потребует трансформации европейской оборонно-промышленной базы, а также существенной модернизации транснациональных закупок. Новые европейские оборонные институты, включая европейское управление экономического развития, определили оборудование БПЛА как ключевой компонент будущего Европы. Ключом будет предоставление достаточных полномочий и компетентности для обеспечения адекватной координации исследований, разработок и производства БПЛА. Прежде всего, способствовать переходу к новой промышленной структуре, которая будет способствовать развитию новых идей и концепций.

Конечно, сотрудничество в его традиционном европейском понимании, возможно, не лучший подход к развитию БАС; по сравнению со многими современными оружейными платформами стоимость относительно невелика, по крайней мере, в тактическом сегменте рынка. Великобритания продолжает свою национальную программу БПЛА, а итальянское правительство предложило свою программу развития БПЛА, на основе крупнейшего в Европе БПЛА, который находится на продвинутой стадии разработки [5].

В некоторых отношениях тактические БПЛА, даже до масштаба модульного разведывательно-ударного беспилотного летательного аппарата Reaper, в идеале могут быть реализованы с помощью хорошо управляемой национальной программы. Режим сотрудничества должен быть тщательно выработан. В случае очень продвинутых платформ БПЛА альтернативы, кроме как искать иностранных партнеров, может быть мало. Главной проблемой остается наличие денег для развития производства, а также необходимость поддерживать производство на рынке, который в лучшем случае будет требовать ограниченное количество платформ.

На рисунке 3 представлена схема модульного разведывательно-ударного беспилотного летательного аппарата Reaper.



Рисунок 3- Схема MQ-9 Reaper

В настоящее время деятельность европейских БАС сталкивается с рядом неопределенностей. Англия и Франция проявляет заинтересованность в продвижении европейского БПЛА MALE, чтобы конкурировать с американскими и израильскими компаниями. Однако они по-прежнему привержены созданию более совершенного демонстратора БПЛА, отвечающего британскому будущему боевой аэрокосмической промышленности [6].

Европа продолжает работу по выработке общего подхода к развитию БАС, возможно, с упором на англо-французскому программу, но это зависит от того, получит ли это предложение поддержку других стран.

Заключение

Появление БПЛА внесло изменение в цепочку поставок в аэрокосмической отрасли и связанную с ней промышленную структуру. В современной мире произошел гигантский скачек от кустарного изготовления дронов к созданию новых отраслей промышленностей. При этом развитие беспилотных систем сокращает потребности в производстве систем жизнеобеспечения пилота. При этом есть большая вероятность что беспилотники полностью вытеснят пилотируемую авиацию.

Влияние БПЛА на структуру промышленности до сих пор отражало общие тенденции. Переходя к технологическому спектру, БАС будут иметь больше общего с производством интегральных схем. Причем победителями в этом сегменте станут системные архитекторы или интеграторы. Поддерживающая цепочка поставок также, вероятно, будет существенно отличаться от ее нынешней конфигурации и состава.

Реальная задача будет заключаться в обеспечении соответствующей промышленной базы для БПЛА MALE — «рабочей лошадки» рынка БПЛА. Потребители беспилотных систем потребуют систему с сокращенным циклом разработки. Традиционным поставщикам аэрокосмической отрасли, особенно со стороны авиастроительной отрасли, придется учесть современные реалии. Поставщики подсистем более высокого уровня могут иметь больше возможностей для адаптации; но им тоже потенциально придется вести бизнес с новым набором источников.

Дальнейшее развитие БАС ожидается в гражданском сегменте, в котором спрос, вероятно, будет в гораздо большей степени ориентирован на услуги. Поставщикам будет предложено выполнить операцию «под ключ», арендовать оборудование или даже предоставить полный пакет полученных и проанализированных данных. Их могут попросить провести операцию по надзору за безопасностью для правительства или квазиправительственной организации или, возможно, для частного заказчика (например, охрана нефте- и газопровода). Удовлетворение такого спроса может привлечь традиционную оборонную аэрокосмическую компанию, особенно если клиент требует высокого уровня целостности и безопасности систем. Но поскольку базовая аппаратная технология снизится в цене и увеличится в возможностях, появятся и другие конкуренты.

В мире существуют достаточно известные примеры бизнес-модели, ориентированные на услуги, вплоть до развития воздушного беспилотного такси. Однако при этом будет оказываться давление на разнообразную промышленную базу БПЛА; консолидация внутри сегментов рынка посредством слияний или банкротств может быть неизбежной, поскольку рынок остановится на нескольких победивших фирмах и продуктах. Рынок также, вероятно, будет двигаться в сторону коммерциализации.

СПИСОК лИТЕРАТУРЫ

1. Беспилотные летательные аппараты. Проблемы проектирования и эксплуатации: монография / Н.В. Горячев, Д.С. Ергалиев, А.В. Полтавский, Н.Д. Кошелев, Н.К. Юрков. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2023. - 322 с.

2. Годунов А. И., Шишков С. В., Юрков Н. К. Система управления комплексными методами борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 1. С. 95-98.

3. Годунов А. И., Шишков С. В., Юрков Н. К. Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 1. С. 90-95.

4. Полтавский А. В., Юрков Н. К., Семенов С. С. Информатизация образования: семантика термина «беспилотный летательный аппарат» // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т. 1. С. 301-302.

5. Юрков Н. К., Жумабаева А. С., Полтавский А. В. К проблеме модельного синтеза комплексов беспилотных летательных аппаратов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2017. № 1. С. 70.

6. Полтавский А. В., Юрков Н. К. Отбор операторов автоматизированных рабочих мест многофункциональным комплексам беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2019. № 1 (25). С. 70-76.

УДК 623.4.021.4

Годунов[1] А.И., Ерофеев[2] М.В., Шишков[3] С.В.

[1] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[2,3] Филиал Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулёва в г. Пензе, Пенза, Россия

[1] godunov@pnzgu.ru.

[2] mihail.erofeev.@mail.ru

[3] sergej.shishkov.75@mail.ru

ГИБРИДНЫЕ РОБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СПЕЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Аннотация. Исследование посвящено использованию гибридных роботов для повышения эффективности ведения специальных операций на основе расширения сферы их применения на земле, под землей, в воздухе, в космосе и в смешанном варианте.

Ключевые слова: гибридные роботы, сфера применения

Godunov[1] A.I., Erofeev[2] M.V., Shishkov[3] S.V.

[1] Penza State University, Penza, Russia

[2,3] Branch Military Academy of Material-Technical Support named after Army General A. V. Khrulyov in Penza, Penza, Russia

[1] godunov@pnzgu.ru

[2] mihail.erofeev@mail.ru,

[3] sergej.shishkov.75@mail.ru

HYBRID ROBOTS AND THEIR PROSPECTS FOR USE IN SPECIAL OPERATIONS

Annotation. The research focuses on the utilization of hybrid robots to enhance the efficiency of conducting special operations by expanding their application areas on land, underground, in the air, in space, and in mixed scenarios.

Keywords: hybrid robots, application sphere

Робот – это кибернетическое устройство, способное выполнять определенную физическую или умственную работу за человека, согласно записанной в него специальной программе, с учетом внешних факторов. Первые идеи таких механизмов берут начало в древнегреческих мифах, но реальное воплощение они нашли только в 20 веке [1].

В настоящее время роботы принимают участие не только в космической и военной разведке, в исследование районов, находящихся под водой или в подверженных районах радиацией, но уже и на поле боевых действий.

Гибрид (от лат. hibrida – «помесь») – организм, полученный в ходе скрещивания двух особей с различными наборами генов. Целью гибридизации является получение организма, сочетающего родительские признаки и новые качества. Если переводить на язык автомеханики и кибернетики, то гибрид — это автомобиль, в котором одновременно используются двигатель внутреннего сгорания и электромотор. Во многом такое решение можно рассматривать как переходный этап между двумя областями – машинами, которые сжигают топливо, и стопроцентными электрокарами. В подводной робототехнике отмечается тенденция проектирования полноценных подводных робототехнических комплексов, которые объединяют в себе аппараты различных классов. Далее такие комплексы будут именоваться гибридными [2].

Современный робот – это устройство с определенной программой, но способное воспринимать окружающий мир через систему датчиков, строить модели поведения, принимать решения и воздействовать на физический мир различными способами.

В настоящее время существует общепринятое разделение робототехники на типы в зависимости от общей области применения, предложенной в стандарте ISO 8373:2012 [3]. Большинство автоматических устройств, в отличие от человека, не подвержены негативным воздействиям, что позволяет использовать роботов в различных сферах. Можно выделить следующие классы гибридных роботов по сфере их применения, приведенные на рисунке1.

Гибридные роботы совмещают в себе несколько типов механических частей способных, например, перемещаться под водой и под землёй с выходом на сушу или возможностью эффективно выполнять свои функции как в воде, так и в воздухе изменяя структуру механической части или нет. При этом четкого разделения по методу передвижения роботов гибридов нет, но для не гибридных он будет определённым.

Роботы подземного назначения. В эту категорию должны входить роботы для прокладывания тоннелей под землей, используемые для построения не только фортификационных сооружений, но для выполнения специальных задач.

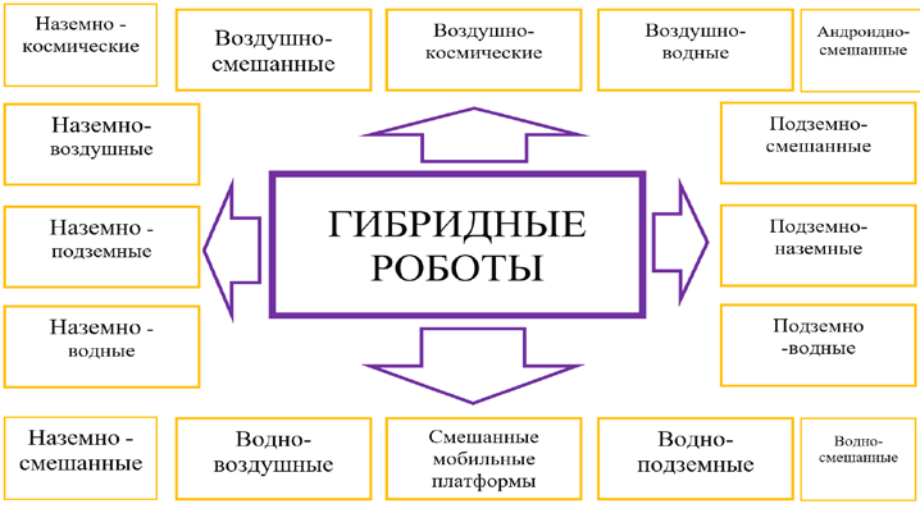


Рисунок 1 – Классификация гибридных роботов по сфере применения

Роботы, управляемые оператором, не способны самостоятельно думать, принимать решения и даже производить собственные вычисления. По сути это просто дистанционно или прямо управляемые машины. К данной категории роботов можно отнести копирующие движения органов управления роботы (простые манипуляторы или роботы андроидного типа), экзоскелеты, роботы, управляемые человеком с пульта управления.

Экзоскелеты – это антропоморфные конструкции, которые обычно крепятся на подвижные части тела человека, и которые копируют их движения с одновременным увеличение создаваемых усилий. В настоящее время начато активное использование экзоскелетов в медицине для реабилитации людей с травмами позвоночника и другими недугами, приводящими к потере способности самостоятельно передвигаться. Одновременно ведутся эксперименты по использованию экзоскелетов для погрузочно-разгрузочных операций, требующих больших усилий.

Роботы, управляемые с пульта управления. С подобным принципом знакомы, наверно, все – на примере радиоуправляемых игрушечных моделек. На пульте – система клавиш или рукояток и средства отображения информации. Движение роботу задается человеком с пульта управления через систему исполнительных приводов.

В полуавтоматических роботах ручное управление сочетается с автоматическим. Используется, когда заранее жестко запрограммировать все нужные операции невозможно, а оснащать робота искусственным интеллектом нецелесообразно или невозможно. К полуавтоматическим относятся роботы, которые выполняют определенный запрограммированный набор действий, однако существует необходимость вмешательства оператора для сообщения ему дополнительной информации (например, с помощью целеуказания, указания требуемой последовательности действий и т. д.).

Автономные роботы – это, как следует из наименования, роботы, запрограммированные на самостоятельные действия, без участия человека, обладающие полноценным искусственным интеллектом. Предельным вариантом автономных роботов являются андроиды с искусственным интеллектом.

Виды роботов по сфере применения: бытовые, сервисные, медицинские, военные, промышленные, космические, строительные, сельскохозяйственные, транспортные, охранные, исследовательские, развлекательные, образовательные и т.д. Для эффективного ведения боевых действий на удаленном расстоянии нас интересуют все роботы, но в первую очередь военные и охранные.

Военные роботы призваны вывести вооруженные конфликты на качественно иной уровень и предназначены для минимизации непосредственного участия человека в боевых действиях с целью сокращения или исключения вовсе людских потерь, а также для работы в условиях, несовместимых с возможностями человека в военных целях. Разновидностей боевых роботов столько же, сколько и боевых задач для войсковых подразделений: беспилотные с дистанционным управлением самолеты (вертолеты) – разведчики, подводные аппараты и надводные корабли, роботы-минеры, роботы-саперы, роботы-патрульные, роботы для переноски военной амуниции. В силу сложности поставленных перед ними задач современные боевые роботы управляются оператором, но ведутся разработки полностью автономных боевых роботов с искусственным интеллектом, способным принимать решения (с учетом определения ответственности за действия боевых роботов и их последствия).

Перед охранными роботами ставятся задачи по защите вверенных территорий или помещений. В простейшем случае указанные роботы выполняют патрулирование охраняемых периметров и в случае фиксации проникновения злоумышленников

сигнализируют об этом дежурным операторам. В последнее время появляется тенденция к оснащению робо-охранников нелетальными видами оружия.

В военном деле речь идет о многофункциональных технических средствах, которые заменяют человека при выполнении конкретных военных операций. Эти устройства наделены искусственным интеллектом и предназначены для выполнения задач, которые человек не в состоянии выполнить.

В современном мире можно выделить следующие разновидности военных роботов (рисунок 1): – воздушные (беспилотные летательные аппараты); – роботы наземного базирования; – роботы военно-морского флота.

Необходимо также развивать направления воздушно-космических роботов, роботов подземного базирования и гибридных роботов, которые будут разделены на наземно-воздушные, воздушно-водные, водно-воздушные (рисунок) и т.д.

Беспилотные летательные аппараты используются для наземных миссий, таких как наблюдение и сбор данных. Летающие (воздушные) роботы могут разрабатывать схемы ударов по точкам противника, проводить разведывательные операции.

Наземное базирование. В эту группу входят военные машины, которые передвигаются по земле и работают без помощи человека – саперы, системы наблюдения и охраны и боевые подразделения.

Военно-морской флот. В эту категорию входят надводные и подводные роботизированные устройства, используемые для наблюдения, разведки, разведки, поиска мин. По степени мобильности роботы выделяются два класса: стационарные и мобильные. Важнейшие классы роботов широкого назначения – манипуляционные и мобильные роботы. Манипуляционный робот – автоматическая машина (стационарная или передвижная), состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и устройства программного управления, которая служит для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций (рисунок).

Мобильный робот – автоматическая машина, в которой имеется движущееся шасси с автоматически управляемыми приводами. Так внешний вид и дизайн гибридных роботов во многом зависит от того, как он двигается, какие смешанные шасси используются. С этой точки зрения роботизированные машины делятся на: колесные, гусеничные, шагающие, летательные, плавающие, ползающие и т.д.

Колесные – это самый простой способ передвижения, при этом характеристики роботов зависят от количества колес. Роботы с небольшим количеством движущихся частей более маневренны, а вот большее количество колес способствует устойчивости машины, улучшает их проходимость. **Гусеничные** – позволяют роботу без труда преодолевать труднопроходимую местность. **Шагающие** – имитация ходьбы затрудняет создание андроида и добиться требуемой стабильности практически невозможно. **Воздушные** – в эту категорию входят беспилотные летательные аппараты, дроны и ракеты. **Водные** – осуществляет навигацию с использованием энергии ветра или гребного винта. Может работать как над водой, так и на глубине. **Смешанные** – в эту категорию входят гибридные роботы, позволяющие работать не только на земле, в воздухе и в воде, но и под землей имея несколько способов перемещения (перечисленных выше).

Каким образом управлять всем этим многообразием гибридных роботов, которые находятся не только в привычной для нас среде распространения электромагнитных волн в воздухе, но и под землей и водой.

Можно предложить несколько способов управления гибридными роботами на основе построения единого информационного поля: космическое управление роботами, воздушное управление роботами и т.д. С учетом возможности работы информационного поля в условиях подавления сигналов радиотехническими средствами борьбы, необходимо иметь альтернативные каналы передачи информации в реальном времени. К альтернативным каналам передачи относятся кодированные сигналы в оптическом диапазоне электромагнитных волн или в акустическом диапазоне волн, на основе использования азбуки Морзе, защищенная от воздействия электромагнитного импульса.

Таким образом, дальнейшее развитие гибридных роботов потребует открытия новых материалов и свойств, а также достижений в области компьютерных технологий и искусственного интеллекта. Нейронные сети будут становиться более эффективными за счет повышения сложности их архитектуры и снижения энергопотребления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юревич Е.И. Основы робототехники: учебное пособие. – 4-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 304с.

2. Вельтищев В. В., Аладышева Е. И. Обзор и перспективы развития гибридных подводных робототехнических комплексов // Журнал Вестник УГАТУ, 2022. Т.26, №1 (95). С.4-12.

3. ГОСТ Р 60.0.0.4 – 2019/ ISO 8373:2012. Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2019. – 31с.

УДК: 681.036

Кочеткова[1] К.Д., Гришко[2] А.К., Шолохов[3] П.А., Мазанов[4] А.М., Чан[5] М.Х.
[1,2,3,4,5] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1] kochetkova504@mail.ru
[2] alexey-grishko@rambler.ru
[3] sholokhovpav@mail.ru

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ КАК СРЕДСТВО СБОРА ИНФОРМАЦИИ В ГЕОДЕЗИИ

Аннотация. В настоящее время использование беспилотных летательных аппаратов все больше расширяется, включая их применение в геодезии и картографии. Предложены математические модели для расчета параметров обнаружения геодезических объектов, а также рассмотрены самые популярные модели современных дронов, используемых в геодезии, и проведено сравнение их характеристик.
Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, дроны, LiDAR, фотограмметрия, GPS-позиционирование, геодезия, программное обеспечение, аэрофотосъемка, лазерное сканирование

Kochetkova[1] K.D., Grishko[2] A.K., Sholokhov[3] P.A., Mazanov[4] A.M., Chang[5] M.H.
[1,2,3,4,5] Penza State University, Penza, Russia
[1] kochetkova504@mail.ru
[2] alexey-grishko@rambler.ru
[3] sholokhovpav@mail.ru

UNMANNED AERIAL VEHICLES AS A MEANS OF COLLECTING INFORMATION IN GEODESY

Annotation. Currently, the use of unmanned aerial vehicles is increasingly expanding, including their use in geodesy and cartography. Mathematical models for calculating the detection parameters of geodetic objects are proposed, as well as the most popular models of modern drones used in geodesy are considered and their characteristics are compared.
Keywords: unmanned aerial vehicles, drones, LiDAR, photogrammetry, GPS positioning, geodesy, software, aerial photography, laser scanning

В современном мире конструирование и производство беспилотных летательных аппаратов набирает большие обороты. Область применения беспилотных летательных аппаратов(БПЛА) довольно широка и по сей день только увеличивается в своих масштабах. Дроны делятся на гражданские, любительские, повседневные модели и промышленные, коммерческие БПЛА. В гражданских целях беспилотные летательные аппараты находят широкое применение в промышленности, строительстве, горном деле, в области общественной безопасности и чрезвычайных ситуаций. На данный момент времени дроны имеют примерно схожие характеристики, а именно, они малы по размеру и весу, что способствует снижению их обнаружения, имеют качественные сенсоры для фото- и видеосъемки, также дроны оснащены новейшими чувствительными датчиками видения, нахождения в воздухе, обхода препятствий [1-5]. Современные технологии позволили дронам иметь систему спутниковой навигации для определения координат с высокой степенью точности. Это позволяет геодезистам с минимальной погрешностью определить местоположение объекта и проводить необходимые измерения.

Геодезические исследования и картография, разумеется, не могли оказаться исключением в силу их специфики и широкого использования аэрофотосъемки. Методы наземного исследования все также остаются востребованными, но беспилотные летательные системы, или же дроны, позволяют увеличить масштабы проводимых исследований, благодаря дронам стало возможно быстро собирать качественные исследования с воздуха и на совершенно различных расстояниях. Использую новейшие технологии и возможности для фотограмметрии, *3D*-моделирования, топографической съемки и множества других задач дроны стали пользоваться большой популярностью в данной области применения.

Первый пилотируемый прототип дрона был разработан примерно в 20-х годах прошлого века. Первым идею создания беспилотного летательного аппарата миру представил ученый-физик, а также довольно известный инженер Никола Тесла. Он зарегистрировал патент, в котором говорилось о создании транспортного средства, управляемого с помощью радиоволн. Первые дроны представляли собой массивные судна, с отсутствием какой-либо стабилизации в воздухе. С того времени дроны прошли множество этапов эволюции и стали использоваться не только частными фирмами и правоохранительными органами, изготовляющими дроны «под ключ», но и начали широко применяться в общественной жизни, например, фотографами, журналистами или даже геодезистами.

БПЛА(беспилотные летательные аппараты) представляет собой малогабаритное судно, предназначенное для выполнения гидрографической съемки в полностью автоматическом режиме в совершенно различных локациях. БПЛА могут обладать разной степенью автономности — от управляемых дистанционно до полностью автоматических. Для геодезических исследований со временем была изобретена специальная

линейка дронов, оснащенная не только базовым функционалом пользовательских дронов, но и специальными технологиями для проведения качественных и детальных исследований.

Геодезические дроны - это серия уникальных, с каждым готов совершенствующихся продуктов, идеально подходящих для нужд землеустроителей, а также ученых, проводящих свои исследования в труднодоступных местах. Это промышленные, многофункциональные беспилотники, которые отвечают за выполнение таких задач, как: картирование местности и объектов. Наиболее популярными моделями беспилотников в этом классе, на данный момент, являются новейшие разработки компаний ***Yuneec H520 RTK*** и ***DJI Phantom 4 RTK***, где ***RTK*** - это система спутниковой навигации, используемая для повышения точности данных о местоположении БПЛА, которая позволяет повысить точность ***GPS***-позиционирования до 2,5 см.

В первую очередь рассмотрим компоненты, из которых состоит дрон. Беспилотный летательный аппарат может быть представлен как довольно простой конструкцией, так и из сложных составных элементов, все зависит от марки дрона и от задач, которые дрон должен уметь выполнять. Но несмотря на то, с каждой последующей моделью внутренняя конструкция дрона может изменяться, его базовая составляющая всегда будет оставаться неизменной [6-9]. Каждый создаваемый дрон, будь то самые первые его модели, так и самые новейшие его экземпляры для геодезических исследований состоят из следующих частей: двигатели, регуляторы оборотов, пропеллеры, полетный контроллер и рама.

Рама дрона является его основной составляющей, к которой прикрепляются все остальные элементы летательного аппарата, для изготовления рамы дрона производители учитывают ударопрочность и легкость материала, чтобы создать как можно более долгий и безопасный полет. Для ее изготовления обычно используют полимеры или другие прочные сплавы, зачастую при ее изготовлении используют карбон или стекловолокно. В основном рама состоит из многих не цельных деталей, что позволяет добиться большей маневренности аппарата и легкости в его управлении. Маневренность летательного аппарата и легкость его управления в свою очередь способствует безопасному и эффективному полету дрона. Также в раме беспилотного летательного аппарата имеются отверстия, через которые прокладывается электропроводка. Она соединяет пролетный контроллер со всеми остальными частями дрона.

Полетный контроллер является «мозгом» дрона, т.к. именно он отвечает за обработку различных сигналов, поступающих от оператора или от установленных датчиков. При помощи шлейфа полетный контроллер соединен с каждым из четырех двигателей, что позволяет подавать на них управляющие сигналы. Чем лучше виброизолирован дрон, тем стабильнее будет его полет, поэтому при конструировании новых моделей дрона производители стараются как можно лучше виброизолировать контроллер и все его составляющие. Из составляющих полетного контроллера можно выделить различные датчики, такие как: ***GPS***, гироскопы, барометр, акселерометр. В ходе работы летательного аппарата датчики передают свои показания полетному контроллеру, в свою очередь специальный передатчик, установленный на корпусе, осуществляет обратную связь с пользователем.

Конечно, состав полетного контроллера, как и состав всех основных его компонентов будет зависеть от выполняемых им задач или, конечно, от цены данного дрона. Наиболее простые дроны, которыми в основном пользуются любители, могут контролировать только вращение двигателей в зависимости от поступающих ему команд от пользователя, а наиболее продвинутые дроны, которые используются профессиональными исследователями, например геодезистами, дроны могут самостоятельно вернуться в точку запуска или самостоятельно выполнять, заранее вбитые в него команды, в экстренных ситуациях.

Главный процессор - отвечает за обработку команд, посылаемых пользователем;

Гироскоп - датчик определения положения дрона в пространстве;

Барометр - датчик, определяющее высоту положения аппарата;

Акселерометр - датчик, анализирующее ускорение устройства в трех плоскостях (*x, y, z*);

Стрелка направления - указывает направление, в котором должен лететь дрон (находится в одном из углов основания платы);

GPS-навигатор - определяет местоположение дрона и передает его пользователю;

Wi-Fi. - для связи с внешними устройствами (планшетом, смартфоном, ПК);

ОЗУ

К движению пропеллеров дрона приводит именно двигатель. Дрон состоит всего из 4 рабочих двигателей, каждый из которых прикреплен к одному из пропеллеров дрона. В летательном аппарате также должна иметься возможность контролировать скорость движения каждого из четырех пропеллеров, данную функцию в дроне осуществляет регулятор, который обрабатывает команды, поступающие ему от полетного

контроллера. На многие профессиональные дроны ставится аппараты, оснащенные защитой

Как и у любого другого прибора, аккумулятор дрона является одной из важнейших частей устройства. От емкости аккумулятора зависит многое от высоты полета до его плавности и работоспособности прибора в целом. Так как сам дрон является относительно компактным устройством, следовательно его аккумулятор также должен быть достаточно миниатюрным.

Если говорить о видеосъемке дрона, то на современных рынках имеется целый ряд различных профессиональных дронов, оснащенных специализированным видеооборудованием. Камеры дронов должны обладать высоким разрешением для получения четких и детализированных снимков, также должна иметь широкий диапазон ***ISO*** для съемки в различных условиях освещения. Более высокий диапазон ***ISO*** позволяет снимать в условиях низкой освещенности без значительной потери качества изображения. Мощность обработки изображения также очень важна для камер, устанавливаемых на дронах: камера должна обладать высокоскоростным процессором для обработки изображений, чтобы позволить пользователю получать результаты с меньшим шумом и более яркими цветами. Если говорить про оптическое разрешение камеры, то камера должна быть оснащена высококачественными объективами с оптической стабилизацией изображения. Чтобы обеспечить безопасность видеооборудования, разработчики делают на дронах специальные подвесы, представляющие собой подвижные механизмы шарнирного типа. Изображение, полученное с видеокамер дрона, транслируется с помощью специальной технологии ***FPV*** на пульт управления или, если установлено специально приложение на смартфон или планшет. Видеокамера летательного аппарата передают картинку по сети ***Wi-Fi***. Дальность связи при использовании технологии ***FPV*** может составлять до 5 километров, но без потери качества видеокартинка передается на расстояние от 500 до 1000 метров.

Для дрона также важен фактор обнаружения своей цели. Геодезисты часто пользуются дронами во время своих исследований, поэтому для дрона важно вовремя находить объект в заданном диапазоне исследований. Для этого рассмотрим методику расчета показателя $P_{обн}$ в среде КСППУР:

$$P_{обн}(D) = 1 - exp[-\frac{(D2_{max}}{2a^2}$$

где $P_{обн}$ - вероятность обнаружения объекта-цели в заданных диапазонах условий применения (УП), а D_{max}- дальность обнаружения. Дальность обнаружения БПЛА можно рассчитать по формуле:

$$D_{max}^{ИК}\sqrt{\frac{S_{об}S_{Ц}\tau_{об}\cos\alpha\cos\varphi k_{ан}\varepsilon_{ц}D*K\,\sigma\,T_{Ц}^{4}[\,Z(\frac{\lambda_2}{\lambda_m})-Z(\frac{\lambda_1}{\lambda_m})]}{\pi\sqrt{q_{ПИ}\Delta f}mk_{Ф}}}$$

Так же дальность обнаружения беспилотного летательного аппарата можно определить по более простой формуле:

$$D = \frac{S_u\sqrt{A*\Delta f}}{\sqrt{U_m^2}}$$

где A – площадь фотоприемника, Δf =1 – полоса частот, U_m - среднее квадратическое значение шумового напряжения, S_u- токовая чувствительность.

По результатам расчета этих формул можно определить вероятность обнаружения объекта-цели в заданных диапазонах. Также можно производить оценку дальности в модели применения БПЛА [9-11]. Благодаря этим формулам геодезисты могут настраивать нужный им диапазон для того, чтобы дрон смог обнаружить тот или иной объект.

Геодезические исследования помогают специалистам принимать обоснованные решения по широкому кругу проблем: планированию строительной площадки, проектированию и эксплуатации инфраструктуры, установлению границ кадастровой собственности и многим другим вопросам. В зависимости от преследуемых задач и нужд пользователей выбирается модель дрона, а также программное обеспечение и специальное оборудование, например, камеры, датчики, сканеры и другое оборудование для точной съемки. В одном случае вам будет достаточно сверхкомпактного складывающегося ***DJI Mavic 2 Enterprise*** или среднего ***DJI Phantom 4 RTK***, а в других случаях может потребоваться более тяжелый, мощный и всепогодный квадрокоптер из серии ***DJI Mavic 2 Enterprise***. Процесс получения данных материалов можно разделить всего на два этапа: работа в полевых условиях, в процессе которой используется следующее оборудование: беспилотник, наземная станция, система связи и навигации, специализированное программное обеспечение для планирования полета и мониторинга; обработка полученных данных при помощи специализированного программного обеспечения для создания готовых ортофотопланов, топопланов и так далее.

Ортофотопланы представляют собой фотографический план местности. На нем представлена поверхность и объекты на изучаемой поверхности с точной привязкой к заданной системе координат, что позволяет осуществить более точный расчет координат местности и создать более-менее точную картину рельефа. Ортофотопланы создаются на основе снимков, полученных дроном во время аэрофотосъемки, основным отличием ортофотоплана является неточность изображения, оно отличается большой наглядностью и объективностью. Ортофотоплан помогает увидеть более точное отражение границ изучаемых земельных участков и объектов. Топографический план является картографическим изображением на плоскости в ортогональной проекции в крупном масштабе или крупномасштабным чертежом, при этом на данном изображении кривизна уровненной поверхности не учитывается. Топографические планы обычно относят к категории предпроектных документов, они используются исключительно для обозначения стратегии ландшафтных работ, ведь начать строительство без каких-либо зафиксированных результатов предварительного осмотра местности, не представляется возможных.

В данные момент времени по результатам последних исследований, среди геодезистов набирает популярность линейка дронов ***DJI Mavic***, а именно марка ***DJI Mavic 3 Enterprise***, данная марка представлена на рисунке 1. Данная марка дрона прекрасно подойдет для создания топографического плана или же ортофотоплана. Данный дрон был разработан компанией ***DJI***, как инструмент для создания картографии и геодезических исследований. Модель данного дрона оснащена всеми ресурсами необходимыми для планирования полетов или же для создания целых «коридоров» полетов, программное обеспечение дрона также позволяет создавать нужные изображения и обрабатывать их для принятия более эффективных решений в вопросах геодезии.



Рисунок 1 - ***DJI Mavic 3 Enterprise***

Mavic 3 Enterprise — это значительный шаг вперед по сравнению с ***DJI Phantom 4***. Ключевой особенностью ***Mavic 3 Enterprise*** является механический затвор, который исключает вероятность размытия изображения, которое может возникнуть из-за рольставней, используемых во многих других моделях дронов. Камера дрона ***Hasselblad CMOS 4/3*** восхищает не только многих геодезистов, но и других любителей качественной съемки, благодаря плавному полету дрона с всенаправленным распознаванием препятствий можно получить качественный контент для совершенно различных целей. Обновления ***DJI Mavic 3*** выходят с постоянной регулярностью и каждое из них устанавливает новый стандарт аэрофотосъемки. Камера дрона также хорошо снимает при слабом освещении благодаря большому сенсору, позволяющему делать более четкие снимки в условиях плохого освещения. Не мало важно сказать, что дрон имеет слот для карты памяти. Сам дрон изготовлен из легкого и одновременно с этим прочного материала, что позволяет ему свободно находится в воздухе без дополнительной нагрузки на него в качестве излишнего веса. Масса данного летательного аппарата без дополнительных аксессуаров составляет 920 грамм, а предельный взлетный вес современного беспилотного летательного аппарата примерно 1050 грамм. Модель коптера отличается своей портативностью, что является большим плюсом, особенно для изучения участков, проникновение в которых может быть затрудненно.

Характеристики данного летательного аппарата во многом превосходят его прошлую модель. Время в полете летательного аппарата составляет 45 минут, что в сравнении с его предшественником является большим рывком, т.к. время в полете модели ***Mavic 2 Enterprise*** 31 минута. А время зависания дрона в воздухе составляет 38 минут, что позволяет геодезистам получить более точные данные местности, а также позволяет составить более конкретные данные той или иной области. В сравнении с более старой моделью ***Mavic 2 Enterprise*** выигрывает и во многих других характеристиках, например, в грузоподъемности и мощности аккумулятора. Дроны могут собирать более сопоставимые факторы за более короткий промежуток времени. Мощность аккумулятора очень важна. Наземная станция управления данной модели дрона является достаточно мощной и оснащена более новой версией программного обеспечения. Для отслеживания работоспособности дрона, компания производителей выпустила серию различных приложений для более удобного пилотирования дрона, приложение также помогает отследить состояние батареи дрона, что немаловажно для обеспечения безопасного полета летательного аппарата. Приложение также помогает корректировать многие функции дрона, будь то настройки камеры или изображения или же высота и дальность полета.

Существуют также дроны, которые осуществляют не только аэрофотосъемку, но и проводят лазерное сканирование местности [12-15]. На рисунке 2 показано, как выглядит воздушное лазерное сканирование местности. Принцип работы лазерного сканирования довольно прост, он заключается в излучении лазерного луча высокой частоты и отражение его на колеблющемся зеркале, т.е. отправленный луч достигает объекта и вновь возвращается в начальную точку. Информацию о расстоянии до определенного объекта прибор получает благодаря испускаемому лазерному лучу: фиксируется время, за которое луч будет проходить расстояние от объекта и обратно. Геодезисты производят лазерное сканирование для того, чтобы производить более высокоточный метод получения координат измеряемого пространства, это происходит за счет измерения расстояния до поверхности каждого рельефа или предмета. В процессе сканирования дроном рельефа создается облако точек с пространственными координатами. Создание множества точек с пространственными координатами позволяет после сканирования сформировать трехмерную модель местности или интересующего нас объекта. Получение трехмерной модели объекта позволяет более детально изучить местность и более детально проанализировать план местности, что может помочь при строительстве различных объектов. Данная технология дает высокую точность результатов, позволяет геодезистам проводить изыскания в сложных условиях, при которых затруднено использование других методов.

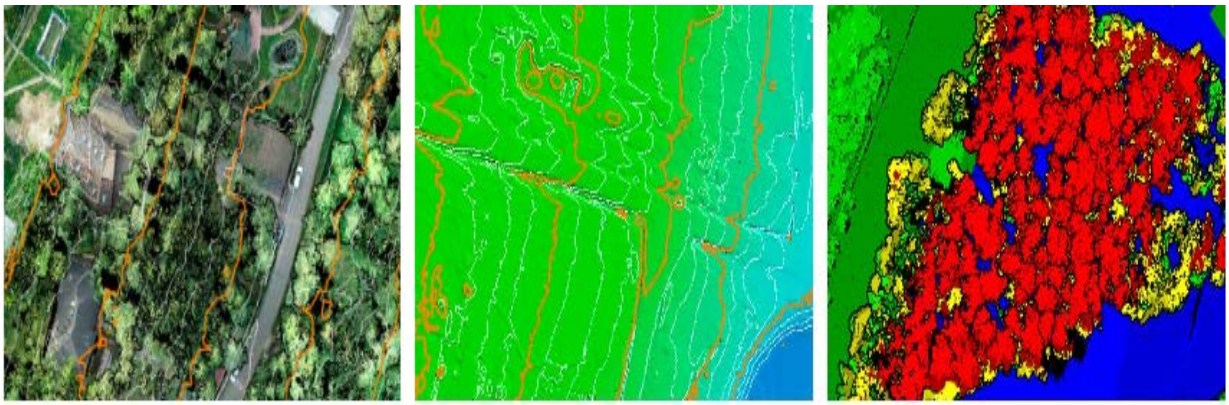


Рисунок 2 – Воздушное лазерное сканирование местности

Компания ***DJI*** занимается разработкой новых функциональных систем в качестве полезной нагрузки на такие платформы как платформы ***Matrice 300 – DJI Zenmuse L1.*** Модель ***Matrice 300 RTK*** подходит для проведения исследований сравнительно небольших объектов, выполняя различные задачи от мониторинга до геодезических исследований. Данная модель дрона является особенно популярной, ведь с этой версией дрона было улучшено его программное обеспечение, а также было выпущено множество обновлений для приложений, корректирующих работу дрона.

Matrice 300 RTK – коммерческая полетная платформа, на создание которой ***DJI*** вдохновили современные авиационные системы. Время в полете летательного аппарата ***M300 RTK*** составляет 55 минут, что по сравнению с моделью ***Mavic 3 Enterprise*** превосходит на 10 минут. Он предлагает расширенные возможности искусственного интеллекта (ИИ), а также систему обнаружения и позиционирования в 6 направлениях. С обновлением системы теперь возможно обеспечение передачи данных на расстоянии до 15 км и возможность поддерживать трехканальную передачу видео в формате 1080p. Если рассматривать модели имеющие компоненты именно для

выполнения лазерного сканирования, то этот дрон, сочетая в себе функции искусственного интеллекта с высокой производительностью и надежностью, задает новый стандарт качества. А модель ***Matrice 300 RTK*** как раз может осуществлять лазерное сканирование местности за счет устанавливаемого на него лидара ***DJI Zenmuse L1.*** Лидар ***DJI Zenmuse L1*** является одной из новейших систем полезной нагрузки от ***DJI.*** Данная модель пользуется популярностью у профессиональных геодезистов при обновлении и реконструкции строительных проектов, также они широко используются для создания высокоточных цифровых моделях местности и для контроля деформаций земной поверхности, что будет особенно полезно для изучения и мониторинга природных явлений, что немаловажно для создания будущих инфраструктурных проектов и осуществления других различных задач, выполняемых геодезистами.



Рисунок 3 – Модель Matrice 300 RTK

DJI Zenmuse L1 – это новейшая система полезной нагрузки от ***DJI***, предназначенная специально для платформы ***Matrice 300*** и совмещающая в себе модуль ***LiDAR***, высокоточный блок ***IMU*** и визуальную камеру с 1-дюймовой матрицей на 20 мегапикселей на 3-осевом подвесе. Модель ***L1*** – это полезная нагрузка с высокой степенью интеграции, которая отлично работает с беспилотной платформой ***DJI Matrice 300 RTK*** и программным обеспечением для картографии ***DJI Terra***. В результате у вас появляется возможность собирать ***3D***-данные в режиме реального времени как в дневное время суток, так и ночью. Занимаетесь ли вы инспектированием какого-либо объекта инфраструктуры или разрабатываете карту участка под строительство, ***DJI Zenmuse*** может помочь вам точно и эффективно внести все характеристики сложных структур и отобразить результат в виде реконструированной ***3D***-модели.

Дроны модели ***Matrice 300 RTK*** поддерживают работоспособность при температурах от -20℃ до +50℃, т.е. дроны данной модели являются довольно чувствительными к холоду. Поэтому использовать его в местах, где температура воздуха ниже установленных -20˚С, не является возможным, зато дрон данной модели прекрасно справляется с высокими температурами, что дает возможность проведения исследований в тропическом климате. Работа дрона ***Mavic 3 Enterprise*** осуществляется при температурах от -10˚С до +40˚С, что является еще более низкими показателями, чем дроны модели ***Matrice 300 RTK,*** по результатам просмотра характеристик использовать данные дроны в местах с особенно низкими температурами, не предоставляется возможным. Несмотря на все выше сказанное, исследование таких мест как Сибирь, Якутия, или даже исследование льдов Антарктиды все равно является возможным для дронов данных моделей. Для этого у производителей этих моделей ***DJI*** есть свои собственные рекомендации при использовании летательных аппаратов зимой или в зонах пониженного климата.

В моделях данных устройств, как и во многих других портативных устройствах, используются литийно-полимерный и/или литийно-ионные батареи. При использовании

дронов в условиях низких температур литийно-полимерные и литийно-ионные батареи выходят из зоны комфорта, что приводит к снижению работоспособности дрона или же к ее полной утрате, чтобы обеспечить более безопасный полет, производители данных моделей рекомендуют использовать только полностью заряженные батареи, при этом перед использованием желательно нагреть батарею хотя бы до 20°С, компания ***DJI*** создала специальное мобильное приложение, с помощью которого можно проверить температуру нагрева дрона. Так же при пилотировании дрона следует двигать ручками управления плавно и аккуратно, это нужно для предотвращения скачков напряжения в батарее. Зимой нужно беспокоится не только о работоспособности батареи, нужно в добавок к этому настроить экспозицию камеры и баланс белого цвета, данные настройки производятся специалистами вручную. Если не произвести данные настройки камеры, то изображение может стать затемненным, это связано с тем, что в условиях автоматической съемки, камера может недоэкспонировать снег, обманувшись его яркостью. Так же нужно учесть и настройку баланса белого цвета, в противном случае снег на изображениях может проявиться в сером цвете.

Дроны особенно полезны в строительстве и управлении проектами, геодезическая съемка может предоставить критически важные данные, которые неразрывно связаны с информационным моделированием зданий (BIM), что в последствии может предотвратить несчастные случаи, которые могут обернуться масштабными катастрофами.

На каждом этапе процесса строительства трехмерные фотограмметрические или лазерные модели с высоким разрешением, созданные с помощью дронов разных моделей, можно накладывать и сравнивать на предварительно запланированные объекты BIM (BIM – Информационная модель здания), это позволяет сделать новейшие разработки программного обеспечения и наличие большого функционала. Это позволяет выявить расхождения между планами постройки и реальностью.

Раннее обнаружение различных проблем заранее может уменьшить ошибки или даже избежать их еще на стадии строительства, а также избежать упущений и повторных работ, что также поспособствует уменьшению затрат, выделяемых на данную работу.

Для более удобного пользования дроном ***DJI*** разработала специальное приложение GS RTK для проведения геодезических исследований. Оно помогает профессиональным геодезистам настроить интеллектуальное управление дроном и эффективно использовать два режима планирования: ***Photogrammetry*** и ***Waypoint Flight***. Режим планирования позволяет автоматизировать рутинные операции: выбор маршрута полета дрона, настройку высоты и скорости, настройку параметров камеры и даже коэффициента наложения, а также ряд других операций, которые необходимы для решения задач автоматической картографии и / или инспекции. Помимо этого, данное приложение максимально учитывает потребности пользователей и содержит ряд функций, которые будут оптимальными при выполнении задач геодезического исследования. Команда специалистов может выполнять операции планирования прямо из офиса, заранее загружая пространственные файлы ***KML***, настраивая выдержку камеры и предупреждая операторов на месте об изменениях погоды. Данное приложение является неотделяемой частью от самого дрона, ведь оно помогает упростить геодезистом работу с самим дроном.

Работа с использованием комплексов Phantom ***4 RTK*** и ***GS RTK*** будет выглядеть примерно так: на первом этапе, с помощью приложения, команда геодезистов планирует полет данного дрона и его маршрут, полеты в приложении можно настроить разные, например установить маршрут линейного полета, с указанием времени, за которое дрон должен будет преодолеть данное расстоянипе; на втором этапе происходит сбор данных с помощью самого дрона. При этом вы можете спокойно работать без установки наземных контрольных точек (***GCP***) и использовать протокол ***NTRIP***. На завершающем этапе можно приступать к ***2D/3D***-моделированию, используя возможности приложения ***DJI Terra***. Приложение ***DJI Terra*** помогает в создании ***2D/3D***-моделей, а также способствует созданию ортофотопланов и топографических планов, используемых в геодезии. Подобные решения доказали на многочисленных примерах свою высокую эффективность и более простую процедуру выполнения работ. Например, работу команды из 25 специалистов – геодезистов с традиционным оборудованием и использованием инструментальных методов могут заменить 2 специалиста “в поле” и 1-2 специалиста в офисе, “вооруженных” комплексом ***Phantom 4 RTK*** и другим оборудованием.

Лидары в современном мире приобрели огромную популярность не только среди высококвалифицированных специалистов, такие как геодезисты, но и стали очень популярны среди простого гражданского населения, любителей. С постоянным ростом развития техники и упрощения, а также снижения стоимости производства лидары для простых граждан становятся более доступными. Не только лидары, но и сами дроны набирают большую популярность среди граждан. Они находят применение и в

гражданской жизни, например, профессиональные фотографы и журналисты с большой охотой пользуются данной технологией. Дроны позволяют с воздуха и на расстоянии получить высококачественные снимки. Одной из важных качеств дрона –это его компактность и портативность, благодаря которой возможно исследование мест, которые могут быть не доступны человеку по тем или иным причинам. Есть также множество мест, в которых может быть опасно находиться длительное время. Дроны помогают заменить рабочую силу, там, где раньше исследования проводилось с помощью 25 специалистов, теперь благодаря широкому спектру возможностей дрона исследования могут производить уже 1-2 специалиста, и уже не на местности, а отдаленно из офиса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mikheev M. Yu., Zhashkova T. V., Shcherban A. B., Grishko A. K., Rybakov I. M. Generalized structural models of complex distributed objects. 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). Yerevan, Armenia, October 14-17, 2016. pp. 1–4. DOI: 10.1109/EWDTS.2016.7807742.
2. Гришко А.К. Системный анализ параметров и показателей качества многоуровневых конструкций радиоэлектронных средств / А.К. Гришко, Н.К. Юрков, Д.В. Артамонов, В.А. Канайкин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2014. № 2 (26). С. 77–84.
3. Гришко А. К. Выбор оптимальной стратегии управления надежностью и риском на этапах жизненного цикла сложной системы / А. К. Гришко // Надежность и качество сложных систем. 2017. № 2 (18). С. 26–31. DOI: 10.21685/2307-4205-2017-2-4.
4. Гришко А. К. Прогнозирование и оптимизация управления процессов проектирования сложных технических систем в масштабе реального времени / А. К. Гришко, А. В. Лысенко, С. А. Моисеев // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1 (21). С. 40–45. DOI: 10.21685/2307-4205-2018-1-5.
5. Grishko, A. Control algorithm for decision making in multi-criteria optimization problems. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2388(1), 012035
6. Grishko A. K., Kochegarov I. I., Goryachev N. V. Multi-criteria Optimization of the Structure of Radio-electronic System in Indeterminate Conditions. 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Saint Petersburg, Russia, May 24-26, 2017, pp. 210 – 212. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970540.
7. Grishko A., Danilova E., Rybakov I., Lapshin E., Goryachev N. Multicriteria Selection of the Optimal Variant of a Complex System Based on the Interval Analysis of Fuzzy Input Data. 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), Moscow, Russia, 14-16 March 2018. pp. 1-7. DOI: 10.1109/MWENT.2018.8337237.
8. Grishko A. Parameter control of radio-electronic systems based of analysis of information conflict. 2016 13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). Novosibirsk, Russia, October 03-06, 2016, Vol. 02, pp. 107–111. DOI: 10.1109/APEIE.2016.7806423.
9. Grishko A., Goryachev N., Kochegarov I., Kalaev M. Mathematical models of the system of measurement and analysis of temperature parameters of radio electronic modules. 2016 13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). Novosibirsk, Russia, October 03-06, 2016, Vol. 02, pp. 112–115, DOI: 10.1109/APEIE.2016.7806424.
10. Grishko A., Kochegarov I., Yurkov N. Structural and Parameter Optimization of the System of Interconnected Processes of Building Complex Radio-Electronic Devices. 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). Polyana, Svalyava, (Zakarpattya), Ukraine, February 21 - 25, 2017, pp. 192–194. DOI: 10.1109/CADSM.2017.7916112.
11. Grishko A., Yurkov N., Goryachev N. Reliability Analysis of Complex Systems Based on the Probability Dynamics of Subsystem Failures and Deviation of Parameters. 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). Polyana, Svalyava, (Zakarpattya), Ukraine, February 21 - 25, 2017, pp. 179–182. DOI: 10.1109/CADSM.2017.7916109.
12. Grishko, A., Adnreev, P., Goryachev, N., Trusov, V., Danilova, E. Reliability control of complex systems at different stages of their life cycle. 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2018; Yekaterinburg; Russian Federation; 7-8 May 2018. Pages 220-223. DOI: 10.1109/USBEREIT.2018.8384589.
13. A. Grishko, A. Lysenko, N. Yurkov, I. Kochegarov and A. Proshin, Stochastic Model of Parametric Prediction of Reliability of Radio-Electronic Systems. 2019 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT), Yekaterinburg, Russia, 2019, pp. 432-435. DOI: 10.1109/USBEREIT.2019.8736570.
14. Yurkov, N.K., Grishko, A.K., Lysenko, A.V., Danilova, E.A., Kuzina, E.A. Intellectual Method for Reliability Assessment of Radio-Electronic Means 2018 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2018, Saratov; Russian Federation; 27-28 September 2018, Pages 105-112. DOI: 10.1109/APEDE.2018.8542360
15. Lysenko, A.V., Kochegarov, I.I., Yurkov, N.K., Grishko, A.K. Optimizing structure of complex technical system by heterogeneous vector criterion in interval form. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 4, 2018, pp. 1–6. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/4/042032.

УДК 531.3

Цуприк[1] А.Д., Бекниязов[2] Н.А., Мухамбетов[3] А.М., Исбасов[4] А.Г., Романенко[5] Ю.А.

[1] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[2,3,4] Военный институт Сил Воздушной обороны Республики Казахстан, Актобе, Казахстан

[5] Филиал Военная академия ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого в г. Серпухов, Серпухов, Россия

[1] tsuprik.rjirf@yandex.ru

[2] nurbol.a.bek@mail.ru

[3] suimbayeva@internet.ru

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ НОВЫХ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Производство беспилотных летательных аппаратов как новая отрасль обеспечивает больше возможностей в меньшем пространстве; больше мощности и скрытности; повышенное соотношение цены и качества и более экономичную систему производства. Рассмотрены проблемы синтеза беспилотных летательных аппаратов на основе открытых систем. Оценен оптимальный состав подсистем, в том числе силовых установок, а также детали легких самолетов, компоненты раллийных автомобилей, генераторы, оптика, датчики изображения и гидравлики. Указаны перспективы развития гражданского сектора беспилотных систем в комплексе с аэрокосмическим приложением.

Ключевые слова: беспилотная авиация, перспективы развития, двигательные установки, система навигации, система управления

Tsuprik[1] A.D., Bekniyazov[2] N.A., Mukhambetov[3] A.M., Isbasov[4] A.G., Romanenko[5] Yu.A.

[1] Penza State University

[2,3,4] Military Institute of the Air Defense Forces of the Republic of Kazakhstan, Aktobe, Kazakhstan

[5] Branch of the Military Academy of Strategic Missile Forces named after Peter the Great in Serpukhov, Serpukhov, Russia

[1] tsuprik.rjirf@yandex.ru

[2] nurbol.a.bek@mail.ru

[3] suimbayeva@internet.ru

ON THE ISSUE OF CREATING NEW UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

Annotation. The production of unmanned aerial vehicles (UAVs) as a new industry provides the condition of more opportunities in a smaller space; more power and stealth; increased value for money and a more economical production system. The problems of UAV synthesis based on open systems are considered. The optimal composition of subsystems was evaluated, including power plants, as well as parts of light aircraft, rally car components, generators, optics, image sensors and hydraulics.

The prospects for the development of the civilian sector of unmanned systems in combination with an aerospace application are indicated.

Keywords: unmanned aircraft, development prospects, propulsion systems, navigation system, control system

Введение. Предполагается, что фундаментальные изменения в оборонных технологиях, изменят структуру оборонного комплекса, потребует новых участников и их объединения для решения вновь возникающих проблем.

Сектор беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) представляет собой специфическую отрасль, которая своим началом обязана аэрокосмической техники. Так в 1988 году был осуществлен первый автоматический полет в космос советского “БУРАНА”. Современные БПЛА оказывают серьезное влияние на гражданскую отрасль. БПЛА также трансформируют промышленную базу, поддерживая разработку новых программ. Это влечет за собой международную кооперацию и появлению новых стран-участников. В настоящее время широкое развитие получили системы сетецентрического управления, которые предваряют изменения в оборонно-промышленной сфере.

В настоящее время существуют несколько платформ развития БПЛА, некоторые из которых используют традиционные адаптированные системы, особенно силовые установки, а также детали легких самолетов, компоненты раллийных автомобилей, генераторы, оптика, датчики изображения и гидравлики. Данные компоненты получили свое развитие в гражданских отраслях, кроме этого, эти компоненты пополняются модифицированным оборудованием, полученным из стандартных аэрокосмических продуктов. Однако растет потребность в специализированном, индивидуально разработанном оборудовании и более инновационных концепциях.

Разработка самых совершенных платформ БПЛА может потребовать проектирования двигателя, который должен будет обеспечивать больше, чем просто мощность для движения, генерировать электроэнергию для питания и охлаждения все большего количества бортового оборудования в ограниченном пространстве, с ограниченными возможностями использования воздушного потока. С другой стороны, потребность в меньших по размеру и более надежных источниках энергии и, что, возможно, что более важно, в электрических генераторах длительного действия меняет технические требования. В настоящее время появляются специализированные поставщики, компании по производству двигателей, которые предлагают новые изделия для гражданской отрасли [1].

Особенности создания беспилотных авиационных систем

Отметим, что основной технологией является интегрированная система питания (ИСП). Как уже упоминалось, переход к электрическому управлению самолетом, большие переходные электрические требования к датчикам, вооружению и боевым системам, а также необходимость управления их температурой выдвинули совершенно новые требования к силовой установке. Но новая технология движения - это лишь одно из требований. Для решения этой сложной проблемы проектирования интерактивных систем необходимы новые инновационные архитектуры энергосистем. Например, двигателестроительным компаниям придется приобретать больше опыта в электротехнике либо за счет переподготовки персонала, найма нового поколения, либо путем приобретения компаний с уже существующими навыками.

Хотя беспилотные платформы являются очевидным примером использования ИСП и значительно выиграют от более компактной, мощной и более гибкой системы производства электроэнергии, ИСП обусловлен спросом в целом в аэрокосмической отрасли, как гражданской, так и военной. Основная силовая установка должна быть небольшой, но ее производство должно быть экономически оправданным. Решением может стать «системный интегратор», поставляющим полную систему ИСП с купленным силовым агрегатом и более сложными связанными с ним подсистемами. Беспилотный сектор обеспечивает более интенсивное и требовательное обоснование для такой адаптации [2]. В современном мире существует рынок датчиков, систем управления и другого бортового оборудования, предназначенного специально для эксплуатации БПЛА. Радарная технология, например, обусловлена сочетанием новых задач (обнаружение самодельных взрывных устройств с стационарных платформ БПЛА) и экологических потребностей (сенсорные комплекты «видеть и избегать» для использования в гражданском воздушном пространстве). Это оборудование должно быть легче и менее мощным.

Существует технология создания БПЛА с чистого листа, а не применение авионики. Необходимо обеспечить производство специализированных компонентов, которые восполнят этот пробел. Технологии систем БПЛА также могут вернуться в обычный аэрокосмический сектор, в том числе за счет разработки приложений нанотехнологий для обороны и аэрокосмической отрасли. Развитие беспилотных систем может в свою очередь обеспечить поддержку пилотируемым системам, в том числе системам жизнеобеспечения [3].

Синтез БПЛА на основе открытых систем

Архитектура открытых систем становится ключевым элементом будущего развития БПЛА. Это обеспечит большую гибкость при проектировании и закупке оборудования для БАС, а также будет способствовать повышению адаптивности в течение всего срока службы. Это также снизит первоначальные затраты, поскольку позволит объединить различные подсистемы на общей платформе. В проектировании БАС актуальным становится модульный принцип проектирования,основанный на подходе типа Lego. Данный подход позволит создать системы, способные самоконфигурироваться.

Данный принцип уже используется, на рисунке 1 представлен БПЛА Barracuda модульной конструкцией. Модульный принцип следует использовать не только при создании конструкции, но и при программном обеспечении, при этом требуются новые стандарты интерфейса, которые расширят функциональность наземных станций, добавляя новые приложения и инструменты, позволяя повторно использовать программное обеспечение в разных системах, упрощая интеграцию новых полезных нагрузок и ускоряя автоматизацию беспилотных летательных аппаратов [4].

В более общем плане архитектура открытых систем потенциально способна еще больше трансформировать цепочку поставок беспилотных транспортных средств, предоставляя больше возможностей для посторонних войти в бизнес в качестве поставщиков готовых компонентов или даже в качестве разработчиков специализированных подсистем. Это значительно сокращает цикл разработки новых БПЛА. Так фирме BAE Systems (США) потребовалось менее 24 месяцев, чтобы перейти от эскизного проекта беспилотника Mantis к первому полету. Программа была основана на спиральном развитии и стала первой местной европейской платформой среднемагистральных беспилотников MALE (Medium Altitude Long Endurance). На рисунке 2 представлен внешний вид беспилотника Mantis, в котором центральная секция крыла выполнена из углеродного композита [5].

Традиционно в Mantis используются шасси, адаптированные к существующим самолетам. В тоже время этот вариант проектирования не универсален и может не подойти к другим платформам, таким как Taranis. Но при этом остается преимущество быстрого прототипирования.



Рисунок 1 - БПЛА Barracuda



Рисунок 2 - Mantis проходит испытания

Быстрое прототипирование BAE Systems также зависело от использования другого набора поставщиков, которые могут быстро поставлять продукцию с высокими техническими характеристиками, желательно в готовом виде или с минимальной адаптацией. В этой фирме есть положительный пример сотрудничества с производителями горных велосипедов, компании по производству планеров [6].

В случае с BAE Systems в отношениях с поставщиками БПЛА начинает проявляться значительная тенденция, связанная с автоспортом. Эти два сектора уже давно поддерживают симбиотические технические и инженерные отношения, но бизнес БПЛА укрепляет связи на уровне процессов и бизнес-моделей. Технические характеристики и технологии имеют столь же требовательный уровень. Сроки изготовления новых продуктов в автоспорте соответствуют рынку БПЛА.

Изменения, обусловленные процессами, не всегда являются обычным рецептом для цепочки поставок оборонной продукции сверху вниз. Есть и лучшие прецеденты в гражданском секторе. Но это подчеркивает проблему, поставленную революцией в сфере беспилотных летательных аппаратов: требования к реальному соотношению цены и качества и зарабатыванию денег на относительно небольших объемах и ограниченном вторичном рынке. Одноразовые возможности и очень быстрое время цикла отражают устоявшиеся бизнес-модели для мобильных телефонов, игровых плееров и хорошо зарекомендовавшую себя сферу гражданских микропроцессорных ИТ-продуктов [7].

Важным потенциальным путем снижения общих затрат на разработку и жизненный цикл оборудования БПЛА является максимизация унификации между системами. BAE Systems, например, стремится к 70% общности между поколениями беспилотных систем. Возможности в этой области значительно расширились бы с внедрением открытых систем и модульной конструкции. Подход открытых систем предоставит новым участникам больше возможностей для проникновения в цепочку поставок БПЛА, а также предоставит больше возможностей для клиентов [8].

Заключение.

Появление БПЛА изменило цепочку поставок в аэрокосмической отрасли и связанную с ней промышленную структуру. Можно сказать, что в параллельном периоде существования беспилотных самолетов братья Райт летали чуть более десяти лет назад, и только тогда военные обнаружили ценность авиации как оружия. Технологии развиваются очень быстро, и кустарное производство изобретателей и энтузиастов готовятся к массовому производству БПЛА.

Беспилотный самолет по самой своей природе удаляет один элемент из традиционной цепочки поставок — все, что связано с сохранением жизни и безопасности пилота. По общему признанию, это дешевое решение, но важное, если БПЛА полностью вытеснят обычные боевые самолеты, что все еще маловероятно. Учитывая вероятные изменения в конструкции авиалайнеров, в гражданской цепочке поставок будут происходить и другие структурные изменения.

Влияние БПЛА на структуру промышленности до сих пор отражало общие тенденции: “Больше возможностей в меньшем пространстве; больше мощности и скрытности; Повышенное соотношение цены и качества и более экономичная система производства”. Переходя к общему технологическому аспекту производства БПЛА, оно станет ближе к интегральным схемам, чем с обычными аэрокосмическими системами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспилотные летательные аппараты. Проблемы проектирования и эксплуатации. Монография /Н. В. Горячев, Д.С. Ергалиев, А. В. Полтавский, Н.Д. Кошелев, Н. К. Юрков// Изд-во – 2023

2. Юрков Н. К., Полтавский А. В., Маклаков В. В., Бородуля В. М. Когерентный контроль координат основных модулей нежесткой фазированной антенной решетки беспилотного летательного аппарата // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 2. С. 100–102.

3. Полтавский А. В., Жумабаева А. С., Юрков Н. К. Алгоритм определения индикатрисы излучения подвижного объекта на примерах робототехнического комплекса беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 3 (11). С. 23–30.

4. Полтавский, А.В. Алгоритм определения индикатрисы излучения подвижного объекта на примерах робототехнического комплекса беспилотных летательных аппаратов// А.В. Полтавский, А.С. Жумабаева, Н.К. Юрков/ Надежность и качество сложных систем. 2015. № 3 (11). – С. 23-30.

5. Полтавский, А.В. К проблеме модельного синтеза комплексов беспилотных летательных аппаратов//А.В. Полтавский, А.С. Жумабаева, Н.К. Юрков/ Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. - 2017. - № 1 (19). – С. 70-77.

6. Нгуен Т. Л., Рыбаков И. М., Юрков Н. К. К проблеме классификации беспилотных летательных аппаратов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 1. С. 122–126.

7. Мельничук А. И., Горячев Н. В., Юрков Н. К. К проблеме синтеза многопозиционной радиолокационной станции обнаружения беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 3 (39). С. 33–41.

8. Полтавский А. В., Юрков Н. К. Отбор операторов автоматизированных рабочих мест многофункциональным комплексам беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2019. №

УДК 623.618.3

Голушко[1] Д.А., Ежижанский[2] В.Д., Асеев[3] Е.А., Бояркин[4] Д.С., Лысенко[5] А.В.
[1] Научно-производственное предприяние «Рубин», Пенза, Россия
[2,3,4,5] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1] kipra@pnzgu.ru

АНАЛИЗ СПОСОБОВ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Аннотация. В данной статье представлен обзорный анализ способов организации систем автоматизации жизнеобеспечения, включающих в себя системы отопления, вентиляции и противопожарной безопасности. Рассмотрены основные функции и возможности программного EasyBuilder Pro, а также особенности его использования на панелях оператора. Приведены примеры возможной организации систем с использованием SCADA-программ. Способы построения сравниваются по таким показателям, как область применения, возможность локального управления, возможность параллельного управления несколькими техпроцессами, особенностям лицензирования.

Ключевые слова: автоматизация, панель оператора, программирование, человеко-машинный интерфейс, программируемый логический контроллер, среда разработки, программируемое реле, SCADA-система, управление жизнеобеспечением, системы жизнеобеспечения

Golushko[1] D.A., Yezhizhansky[2] V.D., Aseev[3] E.A., Boyarkin[4] D.S., Lysenko[5] A.V.
[1] Scientific and production enterprise "Rubin", Penza, Russia
[2,3,4,5] Penza State University, Penza, Russia
[1] kipra@pnzgu.ru

ANALYSIS OF WAYS TO AUTOMATE LIFE SUPPORT SYSTEMS

Annotation. This article presents an overview analysis of the ways of organizing life support automation systems, including heating, ventilation and fire safety systems. The main functions and capabilities of the EasyBuilder Pro software are considered, as well as the features of its use on operator panels. Examples of possible organization of systems using SCADA programs are given. The construction methods are compared according to such indicators as: scope of application, the possibility of local management, the possibility of parallel management of several technical processes, and licensing features.

Keywords: automation, operator panel, programming, human-machine interface, programmable logic controller, development environment, programmable relay, SCADA system, life support management, life support systems

Введение

С развитием научно-технического прогресса растет роль обширно автоматизации различных управляющих процессов [1-4]. Несмотря на то, что в современных образцах оборудования жизнеобеспечения есть системы, которые в реальном времени следят за всеми важными параметрами процесса управления и вносят в него необходимые корректировки, все же требуется вмешательство рабочего персонала. Например, может быть необходимо изменить уставки (пределы содержания газа в воздухе, температурный диапазон помещения и т.п.) или задать нужный гистерезис для терморегулятора [5].

Взаимодействие оператора с оборудованием происходит при помощи интерфейса на экране специальной панели. Такая система позволяет осуществлять как вывод информации в графическом виде (например показания датчиков, состояния коммутирующих устройств или клапанов), так и ввод информации (ввод необходимых чисел, переключение кнопок, тумблеров).

Работа и взаимодействие человека с системами автоматического контроля может осуществляться и без помощи панели. Одним из подобных вариантов организации является использование SCADA-систем, например на платформе персонального компьютера (ПК). Такой способ автоматизированного управления имеет ряд преимуществ и недостатков, по сравнению с использованием панели оператора [6-8].

Организация системы управления с помощью панели оператора

Первый рассматриваемый способ организации автоматической системы управления жизнеобеспечением предполагает использование панели оператора.

Структура метода организации с использованием панели оператора представлена на рисунке 1.

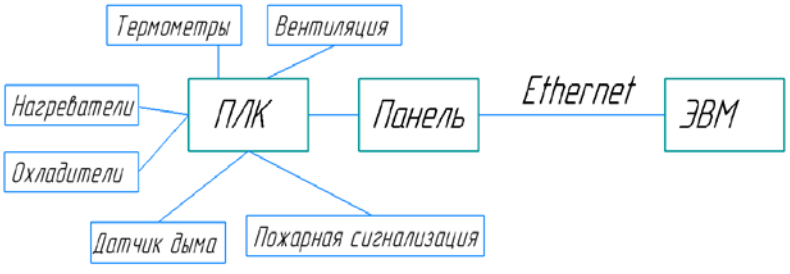


Рисунок 1 – Организация системы жизнеобеспечения с помощью панели оператора

В этом способе программируемый логический контроллер (ПЛК) и панель оператора располагаются в непосредственной близости друг от друга (например, в контейнере, в шкафе и других электронных блоках). Некоторая часть рабочего алгоритма реализуется в панели, благодаря чему можно использовать более простые и дешевые модели ПЛК (например, программируемые реле линейки ПР) [9]. Панель в свою очередь подключается к удалённому персональному компьютеру по сети Ethernet.

Данный метод подключения позволяет управлять заданным техпроцессом как непосредственно с панели (следовательно оператор может оперативно внести изменения находясь непосредственно рядом со блоком управления), так и с удаленного компьютера. Применятся такой способ может в системах, где не требуется большой территориальный разброс.

Следует отметить, что для реализации подобного подключения необходимо прямое соединение по кабелю Ethernet, что ограничивает максимально возможное расстояние между ПК и панелью. С другой стороны, прямое соединение имеет ряд преимуществ: оно не зависит от провайдера (в отличие от подключения через Интернет), что обеспечивает стабильное соединение со скоростью до 100 Гбит/с, а также обладает высокой степенью защиты от нежелательного доступа.

Компьютер, связанный с блоком по сети Ethernet, фактически будет дублировать экран панели. На отечественном рынке операторские панели представлены как продуктами российского производства (такими как линейка панелей СПК от компании ОВЕН), так и устройствами международной компании Weintek. Для работы с продукцией Weintek требуется установить специальную программу – Easybuilder Pro.

EasyBuilder Pro

Рассматриваемый продукт – это гибкое программное обеспечение для разработки человеко-машинного интерфейса (*human-machine interface* или *HMI*), которое позволяет создавать графические интерфейсы для программируемых логических контроллеров (ПЛК) и панелей оператора. С помощью EasyBuilder Pro можно создавать сложные визуализации процессов, а также настраивать взаимодействие с оператором для выполнения различных задач.

Для разработчиков данное программное обеспечение (ПО) предоставляет обширные возможности, такие как использование графических элементов, макросов и баз данных, что позволяет создавать профессиональные системы управления и мониторинга. EasyBuilder Pro является продуктом компании Weintek, одного из лидеров в области разработки ПО для ПЛК и HMI. EasyBuilder Pro является регулярно обновляемым продуктом, количество его функций и опций со временем увеличивается. Панели компании Weintek поставляются со встроенной (предустановленной) системой исполнения. Среда разработки EasyBuilder Pro также является бесплатной [9].

Широкий спектр опций ПО включает в себя множество функций. Пользователи могут создавать различные графические элементы, такие как кнопки, индикаторы, текстовые поля и т.д., для отображения информации и управления технологическим процессом.

Разработчики могут настроить реакцию системы на действия оператора, например, отклик при нажатии на кнопку или при вводе данных.

EasyBuilder Pro поддерживает работу с различными базами данных, что позволяет операторам получать и сохранять данные в реальном времени.

Пользователи могут писать макросы на языках Ladder Logic или Structured Text, которые позволяют автоматизировать процессы и управлять подключенными к панели устройствами.

EasyBuilder Pro имеет встроенный отладчик, который позволяет пользователям проверять работоспособность созданных интерфейсов и макросов. Присутствует возможность как онлайн симуляции работы на подключенной панели или ПЛК, так и возможность оффлайн эмуляции (на ранних этапах разработки, при отсутствии панели и/или ПЛК физическом виде).

В ПО есть инструменты для удобного импорта и экспорта файлов разных форматов, таких как изображения, тексты и базы данных, для обмена данными с другими приложениями.

SCADA-системы

Следующий рассматриваемый способ организации АСУ ТП предусматривает использование SCADA-систем.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – это совокупность программ, используемых для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

В структуру любой современной SCADA-системы входят три основных компонента:

терминал удаленного доступа (RTU), находящийся непосредственно у объекта управления. Включает в себя всю необходимую датчиковую аппаратуру (для получения

информации с объекта) и устройства для осуществления управляющих воздействий (манипуляторы, тепловыделяющие элементы, охладительные системы и т.п.);

пункт управления диспетчера (MTU), расположенный в рабочем пространстве оператора. Здесь, на автоматизированном рабочем месте, в реальном времени происходит отображение всех характеристик техпроцесса, а также размещается база данных системы;

система коммуникации (CS), осуществляющая связь между RTU и MTU.

Функции SCADA-системы:

получение входных данных с датчиковой аппаратуры;

вывод этих данных на экран оператора в реальном времени;

оперативное управление исполнительными механизмами (клапанами, насосами и т.п.);

регистрация и архивирование данных в базе для последующего анализа и составления отчетов;

оповещение диспетчера о чрезвычайных событиях (об авариях, отказах техники и т.п.) [6].

Большой функционал SCADA-систем позволяет широко использовать их в промышленной автоматизации [1].

Схема организации системы жизнеобеспечения с использованием SCADA представлена на рисунке 2.

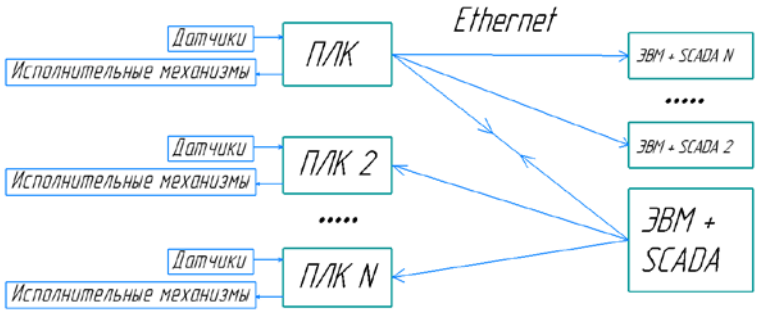


Рисунок 2 – Организация системы жизнеобеспечения с помощью SCADA-системы

При организации систем жизнеобеспечения с использованием SCADA панель оператора отсутствует, а ПЛК связан сразу с компьютером [5].

Непосредственное нахождение контроллера рядом с ПК не требуется, что позволяет применять данный метод для сложных, распределенных по большой территории, систем с дистанционным управлением. Также немаловажно и то, что к одному компьютеру можно подключить не один, а сразу несколько ПЛК и наоборот, работу одного контроллера можно в реальном времени отслеживать и корректировать сразу с нескольких ПК.

При этом весь алгоритм работы процесса исполняется в ПЛК, поэтому необходимо использовать менее дешёвые и более сложные модели контроллеров по сравнению с первым методом. Например, российская исполнительная система MasterPLC поддерживает работу со следующими моделями ПЛК, в том числе отечественного производства: PLC-W ONI, WirenBoard 7, Tornado IPC Gridex II, АБАК К2, КЭАЗ Optilogic, Болид М3000-Т.

SCADA-системы имеют большое количество разных вариантов лицензии. Российская система MasterSCADA 4D предоставляет бесплатную среду разработки и платную кроссплатформенную среду исполнения. Бесплатная версия ПО позволяет организовать подключение одного ПК с одним ПЛК. Для организации более сложных систем существует несколько типов платных лицензий, цена для них растет с увеличением функционала и количества поддерживаемых ПК и ПЛК [6].

Также разработаны и SCADA-системы с открытым кодом, например немецкая Lintouch, позволяющая работать с собственноручно созданными интерфейсами на многих популярных платформах. Lintouch является бесплатным программным обеспечением и легко переносится на устройства, где выполняется в среде Lintouch Runtime.

Для организации данного способа требуется наличие стабильного Интернет-соединения, что не всегда возможно (например, на объектах в удаленных областях страны с плохим покрытием сети). Также через сеть Интернет злоумышленникам проще (по сравнению с Ethernet-кабелем) получить доступ к важным функциям и данным системы.

В таблице 1 приведен сравнительный анализ рассмотренных способов организации систем жизнеобеспечения.

Каждая из рассмотренных систем обладает рядом недостатков и преимуществ, которые обуславливают их применение при построении той или иной системы жизнеобеспечения. Основными критериями являются территориальный разброс системы, зависимость ее работы от стабильности и безопасности Интернет-соединения, тип и особенности лицензии.

Сравнение способов по различным показателям Таблица 1

Способ организации	Область применения	Возможные виды управления	Возможность параллельного управления	Необходимость стабильного Интернет-соединения	Тип и особенности лицензии
С применением панели оператора	Системы с небольшим территориальным разбросом (или без него)	Локальное или дистанционное (в пределах длины кабеля Ethernet)	Нет	Нет	Бесплатная среда разработки и поставляемая с панелью среда исполнения
С применением SCADA-системы	Сложные системы (разнесенные территориально)	Дистанционное	Да	Да	Бесплатная среда разработки и множество видов платных лицензий для сред и модулей исполнения

Заключение

Существуют разные способы построения автоматизированных систем жизнеобеспечения, в зависимости от особенностей объекта управления.

Для систем, ограниченных небольшой территорией с оперативным управлением на месте, можно применить связку ПЛК-панель оператора-ПК, которая обладает высокой степенью защищенности и независимость от стабильности Интернета, благодаря прямой связи по кабелю Ethernet, а также имеет бесплатную среду разработки и встроенную в панель систему исполнения. Расстояние между частями системы при этом ограничено длиной Ethernet-кабеля.

Если же автоматизируемый процесс осуществляется распределенной территориально системой, то более подходящим вариантом будет использование SCADA-систем. При наличии стабильного Интернета, они позволяют в реальном времени управлять сложными системами жизнеобеспечения, в том числе несколькими с одного ПК одновременно. Траты на закупку панелей оператора при этом исчезают, однако лицензии на SCADA-системы имеют широкий предел стоимости, возрастающий вместе со сложностью организуемой системы. В обоих рассмотренных способах существуют отечественные модели используемых устройств и ПО, что позволяет осуществлять импортозамещение в сфере автоматизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремеев, С.В. Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли: Учебное пособие / С.В. Еремеев. - СПб.: Лань, 2018. - 136 с.

2. On the problem of experimental research of forced vibrations of plates / N.K. Yurkov, G.V. Tankov, A.V. Lysenko, V.A. Trusov // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016, Saint Petersburg, 25-27 мая 2016 года. – Saint Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. – P. 416-418. – DOI 10.1109/SCM.2016.7519798.

3. Методы повышения точности прогнозирования показателей надежности наукоемких сложных электронных систем / Н.К. Юрков, А.В. Затылкин, С.Н. Полесский, И.А. Иванов, А.В. Лысенко // Современные информационные технологии. 2014. № 19. С. 183-187.

4. Функциональная модель информационной технологии обеспечения надежности сложных электронных систем с учетом внешних воздействий / Н.К. Юрков, А.В. Затылкин, С.Н. Полесский, И.А. Иванов, А.В. Лысенко // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 184.

5. Пешти Ю.В. Наземные системы обеспечения комфортной жизнедеятельности. - Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2015. - 480 с.

7. Кангин В.В., Кангин М.В., Ямолдинов Д.Н. Разработка SCADA-систем. Учебное пособие. - 2-е изд. - Вологда: Инфра-Инженерия,, 2023. - 564 с.

8. Yurkov, N.K. Methods of Providing Reliability of Avionics and Aerospace Equipment at the Design Stage / N.K. Yurkov, V.A. Trusov, A.V. Lysenko // 13th international scientifictechnical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE - 2016) : Proceedings: in 12 volumes, Novosibirsk, 03-06 октября 2016 года. Vol. Volume 1, Part 2. – Novosibirsk: Новосибирский государственный технический университет, 2016. – P. 123-127. – DOI 10.1109/APEIE.2016.7806427.

9. Stochastic Model of Parametric Prediction of Reliability of Radio-Electronic Systems / A. Grishko, A. Lysenko, N. Yurkov [et al.] // Proceedings - 2019 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2019, Yekaterinburg, 25-26 апреля 2019 года. – Yekaterinburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 432-435. – DOI 10.1109/USBEREIT.2019.8736570.

10. Анализ программируемых логических контроллеров для автоматизации технологических процессов / Д.А. Голушко, В.Д. Ежижанский, А.Е. Яркин [и др.] // Проблемы автоматизации и управления в технических системах : Сборник научных статей XXXV Всероссийской с международным участием научно-технической конференции, посвященной 80-летию Пензенского государственного университета: в 2 т., Пенза, 17-19 октября 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2023. – С. 26-31.

УДК 621.396.98.004.1

Полтавский[1] А.В., Русяева[2] Е Ю., Юрков[3] Н.К., Избасов[4] А.Г.

[1,2,3,4] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ БЕСПИЛОТНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Выполнен краткий обзор и представлены объективные предпосылки по вопросам разработки и создания первых образцов беспилотной авиационной техники. Приводится историческая хронология и термины, даются некоторые особенности разработки беспилотной техники и типовые схемы.

Ключевые слова: модели, беспилотники, история

Poltavsky[1] A.V., Rusyaeva[2] E. Yu., Yurkov[3] N.K., Izbasov[4] A.G.

[1,2,3,4] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

BRIEF HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF MODELS OF UNMANNED EQUIPMENT OBJECTS

Annotation. A brief overview and objective background on the development and creation of the first samples of unmanned aircraft is provided. A historical chronology and terms are given, some features of its development and typical diagrams are given.

Keywords: models, drones, history

Если ретроспективно взглянуть на сам замысел и путь к созданию беспилотных авиационных систем (БАС), то можно отчасти согласиться с информацией, приведенной в [журнал «АвиаСоюз» Авторы статьи: Евгений Пушкарский, Дмитрий Волошин, Алексей Наумов, Василий Ахрамеев Источник: https://russiandrone.ru/publications/istoriya-razvitiya-i-segodnyashniy-den-bespilotnoy-aviatsii/]. Там указано, одними из первых предшественников современных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) можно считать австрийские аэростаты для воздушной бомбардировки. Их впервые использовали в 1849 году, но не были дистанционно управляемыми аппаратами, так что в этом смысле для полноценного развития летающих беспилотников потребовалось важное техническое условие [1,2], изобретение электричества и радиосвязи [3,4]. Так, еще в 1892 году Томас Эдисон представил модель торпеды, которой можно было управлять только по проводам, поэтому это изобретение еще сложно назвать беспилотником. А вот далее, Никола Тесла, в 1899 году создал маленький беспилотник на радиоуправлении [5], причем, эта модель предназначалась для использования на воде.

Началом создания собственно беспилотной летательной техники можно считать 1910 год, когда американский инженер изобретатель Чарльз Кеттеринг предложил создать летательный аппарат под управлением часового механизма, который в определенное время должен был сбросить крылья и упасть на вражеские позиции. Этот замысел заинтересовал разработчиков, началось финансирование этой разработки, причем, есть свидетельства, что первые тестовые полеты прошли успешно, но дальше них проект не пошел [6].

Действительно, в истории БПЛА стоит отметить, что подобные аппараты долгое время воспринимали исключительно как военную технику. Например, во время Первой мировой войны немецкие и американские производители разрабатывали беспилотники и соревновались, чей поднимет больше взрывчатки. Максимума добились США в 1916 году: их беспилотник мог унести 450 килограммов. В военных действиях БПЛА так и не приняли участие, но полученные наработки позже использовали.

Далее, в период до Второй мировой войны, инженеры из разных стран активно экспериментировали с разными способами запуска и посадки беспилотников [1-7]. Их запускали с катапульты и с бомбардировщиков, сажали на воду и при помощи парашютов. Свой вклад внесли и разработчики из СССР: они создали беспилотный планер, который мог нести торпеду и направлялся при помощи инфракрасного луча.

Считается, что точкой отсчета создания первого беспилотника с дистанционным управлением стал 1933 год, появившийся благодаря совместным усилиям британских инженеров. Это уже был аппарат многократного применения, он использовался поначалу как мишень для подготовки пилотов и зенитчиков. Затем, уже в годы Второй мировой войны главный интерес разработчиков фокусировался на создании аппаратов по сбросу торпед, вплоть до конца 1992 года этот интерес не смещался. После окончания Второй мировой войны, беспилотники активно использовались в военно-разведывательном комплексе Америки и Советского Союза. К середине пятидесятых годов прошлого века развитие данных технологий позволило начать разработку полноценных беспилотных разведчиков. В первую очередь работы над беспилотниками для задач разведки начались в США и СССР. К примеру, крупная американская компания Ryan Aeronautics на платформе воздушной мишени BQ-34 Firebee создала

целую серию различных разведывательных модификаций AQM-34, которые уже успешно применялись в течении нескольких десятилетий. У нас же одним из первых (и первым в классе тактических БВС) разведывательных беспилотников стал Ла-17Р («изделие 204» см. рис.1.1). Он был создан в ОКБ-301 на платформе воздушной мишени Ла-17М и стал основой первого советского тактического комплекса беспилотной разведки ТБР-1 (тактический беспилотный разведчик), он оставался на вооружении до начала семидесятых годов. В состав комплекса входили следующие подсистемы:

беспилотный летательный аппарат Ла-17Р;

стартовая пусковая установкаСУТР-1, которая была выполнена на базе четырехколесного лафета 100-мм зенитной пушки КС-19. В качестве буксировщиков применялись тягачи типа КрАЗ-214 и КрАЗ-255. Скорость движения V= 20 км/ч;

транспортная установка ТУТР-1, которая применялась для перевозки самого беспилотника. В качестве буксировщиков использовали тягачи на базе ЗиЛ-157;

спецавтомобиль КАТР-1 для запуска маршевого двигателя и предстартовой поверки бортовой аппаратуры. Он был выполнен на базе грузовика ЗиЛ-164;

радиолокационные и радиокомандные станции «Кама» и «МРВ-2М».

Радиокомандная станция МРВ-2М была разработана в НИИ-648 под руководством Н. И. Белова на основе базовой радиолинии управления и подрыва мишеней МРВ-2.М Базовая станция работала в диапазоне частот 47,9- 49 мГц, имела 12 фиксированных частот, 20 команд и могла работать на расстоянии до 200 км при высоте полета мишени до 10 км. Модернизованная станция размещалась в КУНГе на шасси автомобиля ЗиС-131, имела автономный источник питания и стационарно разворачиваемую антенну. Расчет станции состоял из 6 человек.

Этапы по применению комплекса ТБР-1 были следующими. Беспилотник в собранном виде с помощью автокрана устанавливался на стартовую установку. После чего осуществлялась его заправка топливом и воздухом. Непосредственно в устройство автопилота вводилась заданная полетная программа. Далее, как правило, проводились предстартовые поверки для бортового оборудования. Беспилотник стартовал после запуска маршевого двигателя с помощью двух пороховых ускорителей, который сбрасывались сразу после взлета самолета. Помимо заданной полетной программы была осуществлена возможность управления Ла-17Р по радиоканалу с возможностью выдачи команд через станцию МРВ-2М.

Определение текущих координат проводилось с помощью радиолокационной станции типа «Кама». После выхода самолета в заданный квадрат, разведчик проводил аэрофотосъемку с помощью установленных на борту аэрофотоаппаратов. По завершению съемки машина ложилась на траекторию посадки. Она осуществлялась парашютным способом после выключения двигателя. Принятый же на вооружение беспилотный разведывательный комплекс ТБР-1 передавался в отдельные авиационные эскадрильи беспилотных самолетов-разведчиков. Также следует отметить, что в состав технико-эксплуатационной части входило несколько контрольных автомобилей для проверки различного оборудования.

Кроме того, еще также имелись разработки - автокраны, топливозаправщики, аэрофотолаборатория и прочие вспомогательные материально-технические средства.

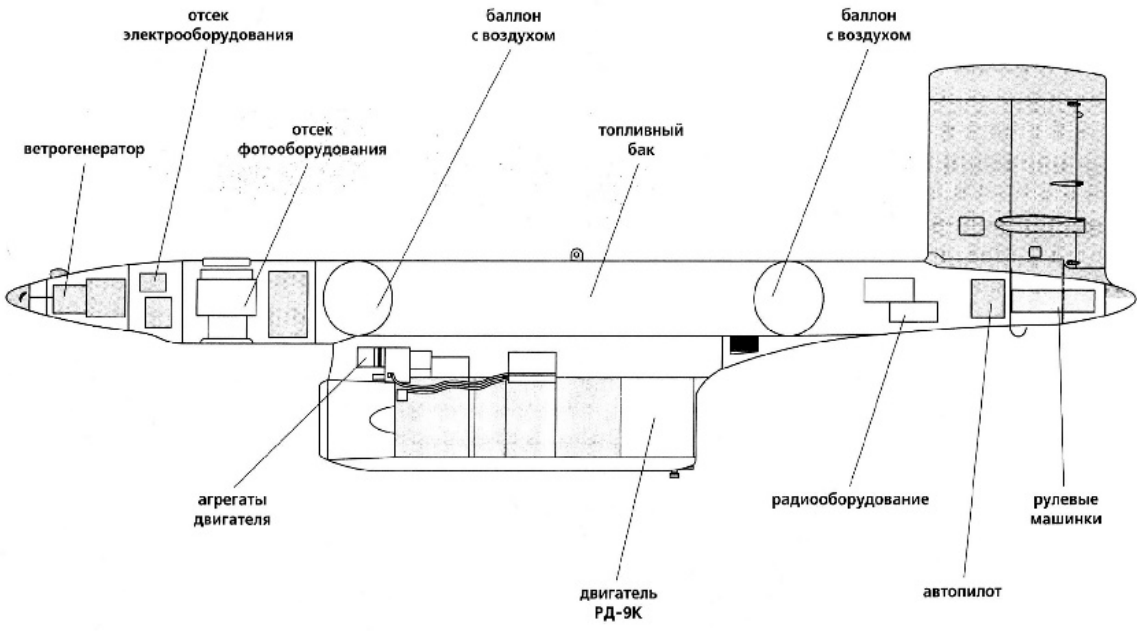




Рисунок 1 - Компоновка и внешний вид беспилотного самолета- разведчика ЛА-17Р

Многое изменилось с разработкой глобальной системы позиционирования GPS, когда инновации и новые изобретения получили новый толчок в развитии беспилотников. Постепенно объекты БПЛА стали использовать и для гражданских целей, а именно, для оперативного мониторинга поверхности земли и воды с высоты, для съемки, разведки, определения местоположения и т.д. Фактически, почти все гражданские дроны появились только в 2000-х, причем технически они отличаются от военных беспилотников и считаются более технологичными благодаря небольшим объемам производства и узкой специализации.

Отметим также то, что два последних обстоятельства позволяют инженерам быстро реагировать на меняющиеся приоритеты задач и потребности потребительского рынка. Сейчас некоторые стартапы разрабатывают практически свои уникальные объекты разных БПЛА, приспособленные для выполнения более конкретных функций. И теперь уже эти беспилотные аппараты (это беспилотные воздушные суда) начали составлять серьезную конкуренцию многим другим службам доставки, что, кстати, стало особенно актуальным в условиях наступившего карантина. Считается [8,9], что в перспективе такие специализированные дроны могут даже чуть ли не заменить малогабаритные воздушные суда, а также и применяться более успешно вместо современной малой авиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Файвуш Я., Аррисон В. Самолет без летчика и управление им по радио. – М.: Авиахим, 1925. – 45 с.
2. Семенов С.С. К истории зарождения управляемого оружия / Проблемы создания корректируемых и управляемых авиационных бомб: Сб. науч.-техн. Статей / Сост.: С.С. Семенов, В.Н. Харчев / Под ред. Е.С. Шахиджанова // Труды ФГУП "ГНПП "Регион". – М.: Инженер, 2003. – 326 с. – С. 30-57.
3. Егер В., Куликов Л., Маренков А. Отечественная беспилотная авиатехника. Надо ли копировать разработки США? // Аэрокосмическое обозрение. – 2008. – № 1. – С. 44-46.
4. Куликов Л. и др. Отечественная беспилотная авиатехника. Надо ли копировать разработки США?//Аэрокосмическое обозрение.– 2008. – № 3. – С. 30-34.
5. Черняков Е. Тенденции развития беспилотных авиационных комплексов // Аэрокосмический курьер. – 2011. – № 1 (73). – С. 58-59.
6. Шибаев В., Шнырев А., Буня В. Беспилотные авиационные системы: безопасность полетов и критические факторы // Аэрокосмический курьер. – 2011. – № 1 (73). – С. 55-57.
7. В России тайно разработан первый разведывательно-ударный беспилотник. https://e-news.su/in-russia/49780-v-rossii-tayno-razrabotan-pervyy-razvedyvatelno-udarnyy-bespilotnik.html.
8. Кошкин Р.П. Беспилотные авиационные системы. – М.: Изд-во "Стратегические приоритеты, 2016. – 676 с.
9. Малышев С. Состояние и перспективы разработки боевых БЛА нового поколения. Часть I // Аэрокосмическое обозрение. – 2018. – № 3. – С. 24–52.

УДК 621.396.98.004.1

Витушкин В.В.

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

kipra@pnzgu.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ВЫБОРА ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА В УСЛОВИЯХ ЗОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. В данной статье освещается вопрос оптимизации траекторий полета воздушных судов в регионе Ростовской области с использованием информационных моделей в условиях зональной навигации. Проведён анализ существующих методов навигации и представлены рекомендации по использованию информационных моделей для выбора оптимальной траектории полета.

Исследование охватывает анализ возможных маршрутов полета, а также рассматривает вопросы безопасности и эффективности использования информационных моделей в контексте перехода к зональной навигации. Результаты работы могут быть полезны при разработке и внедрении новых методов навигации, способствующих оптимизации воздушного движения в регионе.

Ключевые слова: оптимизация траекторий полета, информационные модели, зональная навигация, безопасность полетов, эффективность навигационных систем, авиационные технологии

Vitushkin V.V.

Moscow State Technical University of Civil Aviation,

kipra@pnzgu.ru

THE USE OF INFORMATION MODELS TO CHOOSE A FLIGHT PATH UNDER AREA NAVIGATION CONDITIONS, USING THE EXAMPLE OF THE ROSTOV REGION.

Annotation. This article discusses the optimization of aircraft flight trajectories in the Rostov region using information models in the context of area navigation. The analysis of existing navigation techniques is conducted and recommendations on the use of information models for selecting the optimal flight route are presented.

The research covers an analysis of possible flight routes and addresses issues of safety and efficiency in using information models in the transition to area navigation. Findings from this study could contribute to the development and implementation of new methods for optimizing air traffic in the region.

Keywords: flight trajectory optimization, information models, area navigation, flight safety, navigation system efficiency, aviation technologies

Введение

RNAV (Area Navigation) — это метод навигации, который позволяет воздушным судам определять своё местоположение и следовать по маршруту без необходимости постоянного контакта с наземными навигационными средствами. Это значительно упрощает процесс полёта и делает его более безопасным.

Необходимость перехода к зональной навигации обусловлена постоянным увеличением объема воздушного движения как в масштабе мировой авиации, так и в контексте России. Структуризация воздушного пространства через эшелоны и коридоры, хотя и соответствует требованиям Международной организации гражданской авиации (ICAO) по обеспечению безопасности полетов, уже не отвечает современным запросам быстрой перевозки пассажиров и грузов [1].

Кроме того, наблюдается значительный рост нагрузки на диспетчеров, которые более не могут эффективно обслуживать все увеличивающееся количество воздушных судов. Даже малейшая ошибка со стороны диспетчера может иметь катастрофические последствия.

В настоящее время, согласно мнению экспертов ICAO, одним из способов решения этой проблемы является переход к зональной навигации - методу управления воздушным движением, который позволяет выбирать траектории полета в рамках определенной зоны управления воздушным движением, обеспеченной наземными средствами. В таком случае роль диспетчера сводится к вмешательству только в случае конфликтных ситуаций, превращая диспетчерский контроль из непрерывного в дискретный [2].

Кроме того, в контексте Ростовской области особенно важно учитывать региональные особенности и инфраструктуру, а также потенциальные вызовы, связанные с локальными метеоусловиями и географическими особенностями. Это подчеркивает актуальность применения современных методов навигации, таких как зональная навигация, для оптимизации воздушного движения в регионе.

Концепция RNP и оборудование RNAV

На текущий момент, по мнению экспертов ICAO [3], одним из выходов из создавшегося положения может быть переход к зональной навигации - режиму управления воздушным движением, при котором экипаж может выбирать траекторию полёта хотя бы в рамках некоторой зоны управления воздушным движением, хорошо оснащённой

наземными средствами обеспечения полётов. Роль диспетчера в данном случае остаётся в том, чтобы вмешиваться только в конфликтных ситуациях.

ICAO разработала концепцию RNP или, говоря другим языком, требуемых навигационных характеристик (ТНХ). Суть данной концепции заключается в разработке средств, обеспечивающих определение точного местоположения воздушного судна в пределах каждого района воздушного пространства, учитывая его протяжённость, характер рельефа и обеспеченность наземными средствами обеспечения полётов.

RNP устанавливаются [4]:

1) для маршрута;
2) ряда маршрутов;
3) района;
4) объема ВП;

Для каждого региона выбор RNP осуществляется специалистами по воздушному планированию или органами, несущими за это ответственность.

При полётах воздушного судна по маршруту имеется 4 типа RNP, разработанных в зависимости от размера половины полосы, в пределах которой должно оставаться воздушное судно с вероятностью 0,95:

RNP1 – в 1,85 км;
RNP4 – в 7,4 км;
RNP 12,6 – в 23,3 км;
RNP 20 – в 37,0 км.

Исходя из всего вышесказанного, для успешного перехода к режиму зональной навигации необходимо выполнение двух условий:

1) Точная и надёжная работа навигационной аппаратуры. Точное знание своего местоположения – необходимое условие того, чтобы экипаж воздушного судна начал решать задачу о дальнейшем выборе своего маршрута.

2) Точная и надёжная работа связного оборудования. Невозможно выбрать траекторию полёта, сменить высоту полёта или совершить манёвр, не имея информацию о местоположении других судов в регионе.

На сегодняшний день идёт работа над созданием полной системы нормативных данных для зональной навигации, но практически не проработаны вопросы построения трасс для этого режима.

В АИП Российской Федерации (АИП) в разделе ENR 4.3 Глобальная навигационная спутниковая система (GNSS) по состоянию на 29.12.2022 г. на 121 аэродроме установлена система захода на посадку ЛККС (GLS) с селектором данных опорной станции.

В АИП опубликовано следующее количество аэродромов со схемами захода на посадку: RNAV, RNP, RNP AR, GLS:

Аэродромы со схемами захода на посадку: RNAV, RNP, RNP AR, GLS Таблица 1

Количество аэродромов		Опубликованы схемы			
		RNAV	RNP	RNP AR	GLS
Книга 1	76	28	38	1	58
Книга 2	45	11	13		18
Книга 4	241	9	12		4
Всего	362	48	63	1	80
%	100	13,3	17,4	0,0	22,1
Всего в %		53,0			

Количество аэродромов, на которых отсутствует GLS, но опубликована заходы на посадку RNAV (GNSS) и RNP – 31.

Режим зональной навигации может быть внедрён и эффективно использоваться только после решения нескольких задач. Этими задачами являются [5]:

1) Вычисление координат ВС в текущий момент времени;
2) Сохранность данных о маршруте ВС;
3) Определение характеристик, необходимых для навигации.

К подобным параметрам относится, например, ЛЗП;

Роль ГЛОНАСС в обеспечении безопасности полётов

На сегодняшний день нормативная база для перехода к зональной навигации достаточно полно проработана.

В [4] приведены общие требования к воздушным судам, оснащённым оборудованием для перехода к зональной навигации. В качестве основного требования указано,

что зональная навигация должна проводиться с выдерживанием ограничений по обеспечению воздушного движения для различных регионов, типов воздушного пространства и с учётом концепции требуемых навигационных характеристик. При этом на региональном и государственном уровне требуется обязательное наличие на борту соответствующего оборудования.

В соответствии с [4] информационными данными для вычисления координат ВС могут являться дальномерная и угломерная системы VOR и DME соответственно. Помимо них для определения местоположения ВС также используются инерциальная навигационная система (ИНС) и разностно-дальномерная система LORAN-C. Современные тенденции развития средств навигации, в том числе и в ГА, говорят о необходимости постепенного перехода к глобальной спутниковой навигационной системе (GNSS).

Если на аэродроме не работает ЛККС (GLS), то согласно рекомендации ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», процедура RNAV (GNSS) для начального и промежуточного участков захода на посадку не может быть использована. Основание:

«Выключение ЛККС приводит к невозможности выполнения:

- GLS процедур;
- RNAV (GNSS) процедур (SID/STAR, NPA, уход на второй круг) из-за потери функции мониторинга, регистрации и хранения состояния навигационного обслуживания GNSS в районе аэродрома (ЛКСМ – подсистема ЛККС)».

ЛККС включает в себя подсистему – локальную контрольную станцию мониторинга (ЛКСМ). ЛКСМ производит мониторинг, регистрацию и хранение состояния навигационного обслуживания GNSS в районе аэродрома. Вместе с индикаторными средствами на рабочих местах диспетчеров ЛКСМ позволяет оценить возможность выполнения планируемой операции с использованием GNSS с учетом требований к точности определения пространственного положения и типа используемых спутниковых систем (например, ГЛОНАСС/GPS) в зоне аэродрома и на его подходах.

Важно отметить, что наличие ЛКСМ является обязательным условием для осуществления полетов с использованием GNSS для соответствующих операций в районе аэродрома.

Следовательно, присутствие ЛКСМ обязательно для осуществления полетов с использованием GNSS в соответствии с разрешенными операциями на территории аэродрома.

В качестве примера дан фрагмент карты захода на посадку по ILS с применением зональной навигации в аэропорту Платов г. Ростов-на-Дону [5].

Построение траектории полёта воздушного судна при переходе к зональной навигации и нахождение возможных ошибок при получении навигационной информации

Таким образом для построения траектории воздушного судна при переходе к зональной навигации предложим следующий критерий:

$$t \to min$$
$$\gamma \geq 0{,}999999 \qquad (1)$$

Таким образом, выбор траектории воздушного судна необходимо проводить в 2 этапа:

1) сразу отбрасывать те варианты, которые не удовлетворяют требованиям по обеспечению безопасности полётов;

2) из оставшихся траекторий воздушного судна выбирать ту, которая требует наименьших временных затрат.

Нельзя забывать про факторы, связанные с возможными погрешностями или даже отказами навигационного и связного оборудования воздушных судов. Так как полный отказ оборудования есть величина очень малая, то обычно рассматривается допусковый отказ, т. е. случай, когда погрешность выходит за допустимые пределы.

Введём обозначения:

p_i – вероятность отказа, возникающего при определении местоположения i -го воздушного судна (одно из воздушных судов, с которым рассматриваемое воздушное судно находится в одной зоне), $i = 1,\ldots,n$.

$p_{оп}$– вероятность отказа, возникающего при определении местоположения опорного воздушного судна,

$p_i^{/}$ - вероятность возникновения погрешности при работе линии связи с i -м ВС.

Вероятность получения неверной навигационной информации на опорном ВС с i -го ВС вычисляется по формуле:

$$\alpha_i = p_i + p_i^{/} - p_i p_i^{/} \qquad (2)$$

Для окончательного расчёта ошибок, помимо учёта результатов формулы (2), необходимо учитывать и фактор влияния на итоговую погрешность погрешности при определении местоположения опорного воздушного судна.

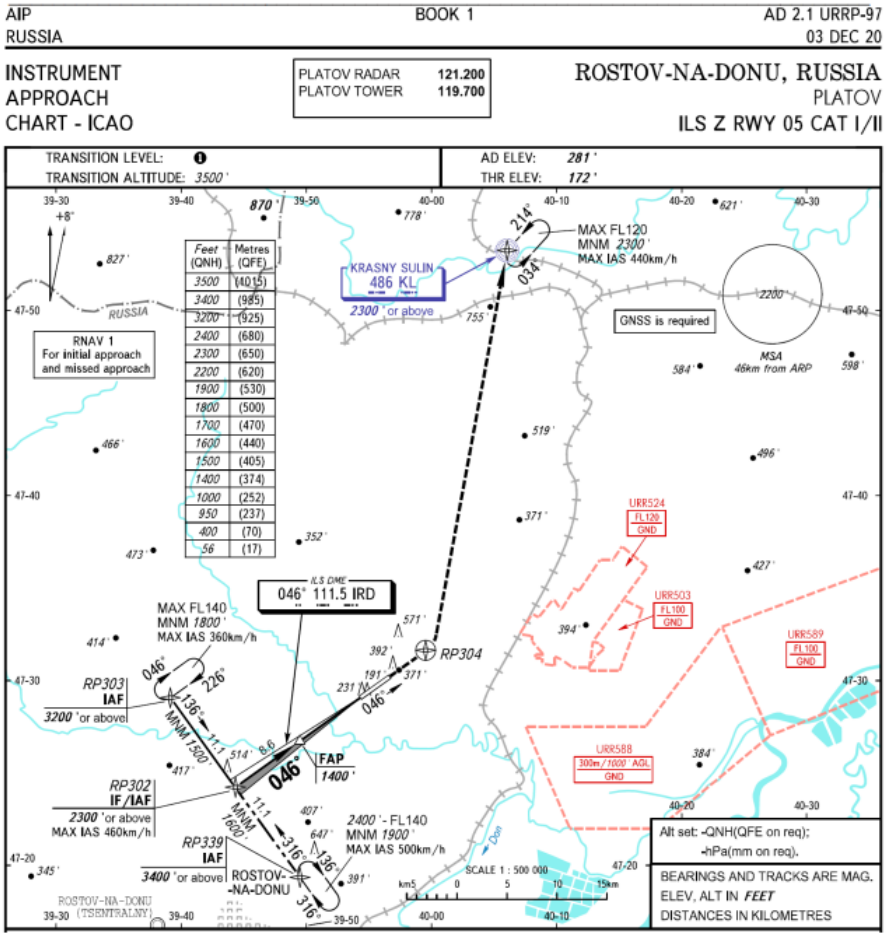


Рисунок 1 - Фрагмент карты захода на посадку по ILS с применением зональной навигации в аэропорту Платов г. Ростов-на-Дону

Тогда:

$$\beta_i = p_{оп} + \alpha_i - p_{оп}\alpha_i = p_{оп}\left(1 - p_i - p_i^{/} + p_i p_i^{/}\right) + p_i + p_i^{/} - p_i p_i^{/}. \quad (3)$$

Расчёт вероятности получения неверной навигационной информации для построения маршрута опорного воздушного судна при наличии естественных погрешностей и расчёт при наличии погрешностей, являющихся следствием несанкционированного воздействия показан на рисунках 2 и 3 соответственно. В этом случае проблематично обеспечить имеющиеся требования по безопасности полётов.

Обозначение надёжностных характеристик ВС в регионе	Числовые данные для надёжностных характеристик ВС в регионе	Вероятность погрешностей при навигационном обеспечении опорного судна ($p_{оп}$)	Вероятность получения неверной навигационной информации на опорном ВС с i-го судна (α_i)	Вероятность получения неверной информации для построения маршрута движения опорного ВС (β_i)
P_1	10^{-7}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-6}
$P_1^{/}$	10^{-6}			
P_2	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}
$P_2^{/}$	10^{-7}			
P_3	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$
$P_3^{/}$	$3 \cdot 10^{-6}$			

Рисунок 2 - Расчёт вероятности получения неверной информации для построения маршрута опорного воздушного судна при наличии естественных погрешностей

Обозначение надёжностных характеристик ВС в регионе	Числовые данные для надежностных характеристик ВС в регионе	Вероятность погрешностей при навигационном обеспечении опорного судна $p_{(on)}$	Вероятность получения неверной информации на опорном ВС с i-го судна a_i	Вероятность получения неверной информации для построения маршрута движения опорного ВС B_i
p_1	0,01	0,05	0,020	0,069
p_1'	0,01			
p_2	0,004	0,05	0,006	0,056
p_2'	0,002			
p_3	0,01	0,05	0,012	0,061
p_3'	0,002			
p_4	0,01	0,05	0,012	0,061
p_4'	0,002			
p_5	0,003	0,05	0,007	0,057
p_5'	0,004			
p_6	0,01	0,05	0,020	0,069
p_6'	0,01			
p_7	0,002	0,05	0,006	0,056
p_7'	0,004			
p_8	0,01	0,05	0,020	0,069
p_8'	0,01			
p_9	0,01	0,05	0,015	0,064
p_9'	0,005			
p_{10}	0,01	0,05	0,015	0,064
p_{10}'	0,005			

Рисунок 3 - Расчёт вероятности получения неверной информации при наличии погрешностей, являющихся следствием несанкционированного воздействия

Заключение

В заключении данной статьи можно выделить следующие ключевые моменты:

Освещен вопрос оптимизации траекторий полета воздушных судов в регионе Ростовской области с использованием информационных моделей в условиях зональной навигации;

Проведен анализ существующих методов навигации и представлены рекомендации для выбора оптимальной траектории полета;

Предложены критерии для построения траектории полёта при переходе к зональной навигации;

Проведён расчёт вероятности получения неверной навигационной информации при наличии естественных погрешностей и при наличии погрешностей, являющихся следствием несанкционированного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатюк А.С., Витушкин В.В., Затучный Д.А. Алгоритмы выявления различных навигационных погрешностей во время полета воздушного судна на основе комплексного использования информации // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2018. - Т. 1. - С. 287-290. - EDN YAFIHB.

2. Витушкин, В. В. Автоматизация процесса выбора связного ресурса в условиях возможного перехода к режиму зональной навигации / В. В. Витушкин // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. - Т. 1. - С. 45-48. - EDN UPUYWI.

3. Международная организация гражданской авиации: [сайт]. URL: https://www.icao.int

4. Руководство по требуемым навигационным характеристикам (RNP), Издание третье, 2008.

5. В НОТАМ: «ЛККС не работает» - Забудьте про зональную навигацию?. — Текст: электронный // Aviation EXplorer : [сайт]. — URL: https://www.aex.ru/docs/4/2023/1/9/3407/ (дата обращения: 10.04.2024).

УДК 531.3:681.5.01:629.73./.76

Избасов[1] А.С., Мельничук[2] А.И., Бейсембаева[3] Б.С., Мухамбетов[4] А.М., Супалдьяров[5] А.Г.

[1,2,3,4,5] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Рассмотрены общие подходы к классификации беспилотных авиационных систем. Подробно исследована классификация беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения. На основе анализа способов обеспечения безопасности и надежности беспилотных летательных аппаратов, обоснована структурная схема организации их типовой последовательной системы.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, классификация, система управления

Izbasov[1] A.S., Melnichuk[2] A.I., Beisembayeva[3] B.S., Mukhambetov[4] A.M., Supaldyarov[5] A.G.

[1,2,3,4,5] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

ON THE ISSUE OF CLASSIFICATION OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

Annotation. The general approaches to the classification of unmanned aircraft systems are considered. The classification of unmanned aerial vehicles for civil purposes has been studied in detail. Based on the analysis of ways to ensure the safety and reliability of unmanned aerial vehicles, a structural diagram of the organization of their typical sequential system is substantiated.

Keywords: unmanned aerial vehicle, classification, control system

Введение

Учитывая развитие и широкое распространение беспилотных авиационных систем, назрела необходимость провести классификацию беспилотных авиационных систем (БАС). Между тем, в настоящее время не существует общепринятой системы классификации БАС.

В тоже время, все известные конструкции беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) целесообразно разделить на три крупные категории: мини БПЛА, тактические и стратегические БАС, так как показано в таблице. 1. Эта классификация согласована с основными характеристиками и особенностями известных БПЛА.

Группы БПЛА Таблица 1

Категория	Мини	Тактический	Стратегический
Высота	Низкая	От низкой к средней	От средней к высокой
Время функционирования \ Долговечность	Короткое (до 60 мин.)	Среднее (до нескольких часов)	Длительное (до нескольких суток)
Дальность	Близкие дистанции	Ограниченно прямой видимостью	Дальняя дистанция

БПЛА используются в широком спектре задач, хотя степень их использования и уровень общей специализации и интеграции неясны. Как показывает практика, БПЛА используются наиболее интенсивно в разведывательных целях и передачи информации, а также для ретрансляции связи, при которых БАС передают информацию между собой и системами управления, как наземного, морского, так и воздушного базирования. При полной интеграции систем ретрансляции в структуру управления БПЛА улучшаются дальность, а также способность оценивать координаты целей и функции наведения на них. Совершенствуются возможности доставлять грузы на большие расстояний и производить длительную разведку. При этом повышается точность обнаружения, определения координат, отслеживания и нацеливания на важные стационарные и мобильные цели, такие как аэродромы, корабли и др.

БПЛА меньшей дальности могут удешевлять разведку и поиск неподвижных и мобильных целей. В зависимости от базирования и дальности действия некоторые из этих БПЛА также могут проводить разведку целей.

Современная промышленность разрабатывает БПЛА средней высоты и большой выносливости, а также БПЛА большой высотности. При вводе в эксплуатацию эти усовершенствованные БПЛА смогут осуществлять постоянное наблюдение за обширной территорией на больших расстояниях, а также проводить раннее предупреждение. Одновременно с этим БПЛА создаются для радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Подобного типа дроны могут быть развернуты в наземных подразделениях, выполняющих специальную задачу по РЭБ, для которых созданы подразделения электронного противодействия. БПЛА РЭБ, вероятно, будут сосредоточены на подавлении тактической связи и системы глобального позиционирования (GPS), но могут обеспечить ряд других возможностей, включая создание ложных целей против вражеских бортовых

систем предупреждения и управления (АВАКС)/бортового раннего предупреждения (AEW) и энергосистемы (ES).

В настоящее время развивается быстрыми темпами разработка прототипов БПЛА, предназначенные специально для боевых задач в режимах как «воздух-воздух», так и «воздух-земля». Наконец, идет разработка БПЛА для целей, напрямую не связанных с обороной, включая правоохранительные органы, морское наблюдение и дистанционное зондирование земли для сельского хозяйства, а также поддержки гуманитарных целей - помощь/ликвидацию последствий стихийных бедствий. БАС находят все более широкое применение при ликвидации последствий землетрясений, лесных пожаров, половодий и т.п. При этом данные дистанционного зондирования с помощью БПЛА позволяют спасателям понять масштабы ущерба, места дислокации жителей и обслуживающего персонала, что помогает более эффективно направлять спасателей и доставлять технику и грузы.

Основное применение БПЛА основано на выполнении как на специальных функциях, так и на общегражданских. Рассмотрим более подробно классификацию с точки зрения гражданского применения на рисунке 1.

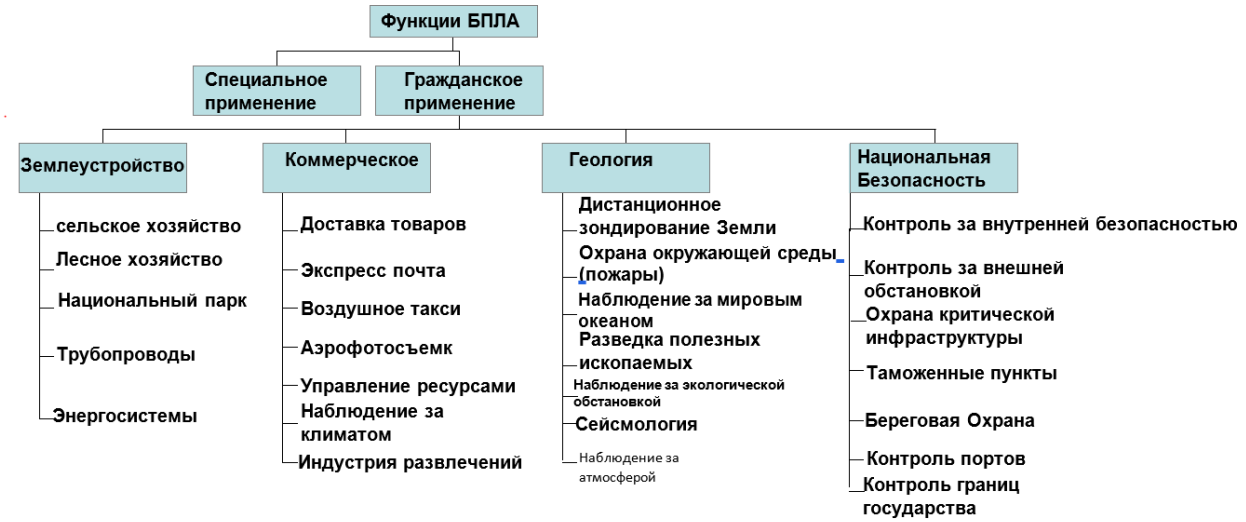


Рисунок 1 - Классификация БПЛА в направлении гражданского применения

Как видно из рисунка 1 мы выделяем четыре группы применения БПЛА: землеустройство, коммерческое, геология и национальная безопасность.

Основными элементами землеустройства являются работа в сельском хозяйстве, а также контроль за энергосистемой и трубопроводами.

Для коммерческого применения наиболее широко используются в доставке товаров, в экспресс почте, а также аэрофотосъемка.

Важными функциями в геологии являются разведка полезных ископаемых, сейсмология и наблюдение за морским океаном.

Для национальной безопасности основными функциями являются контроль внутренней и внешней обстановки, а также пограничный контроль.

Обратим внимание, что специальные функции не рассматривают в данной статье, но мы признаем, что многие из технологий, разработанных для военных БПЛА, будут аналогичны или идентичны технологиям, необходимым для гражданских БПЛА. В результате координация между военными и гражданскими структурами имеется возможность использовать и включать военные технологии в системах гражданского применения.

Хотя базовые технологии БПЛА специального и гражданского применения схожи, но между ними существуют большие экономические и технические различия. Во-первых, БПЛА специального назначения призвано выполнять конкретную боевую задачу. Технические средства такого БПЛА должна быть оснащена боевым оборудованием (включая бронезащиту, сенсорный комплекс выполнение функций без вреда для личного состава, которые преобладают над экономическими показаниями машины). Основная цель в области гражданского применения — дальнейшее развитие основных технологий для снижения стоимости изготовления и эксплуатации, а также повышения безопасности полетов БПЛА. Практика показывает, что многие технологические достижения гражданских дронов активно используются специальными БПЛА.

Рассмотрим более подробно гражданское применение в области изучения Земли. Для контроля морских границ правоохранительные органы интегрируют БПЛА в свою деятельность. Ведутся работы по созданию наземной инфраструктуры поддержки

широкого использования БПЛА для морского наблюдения (дистанционного зондирования). Этот план свидетельствует о быстрорастущей области использования БПЛА в морской сфере – как военной, так и гражданской.

Безопасность и надежность

Статистические данные, собранные для БПЛА, были использованы для проведения анализа надежности. Надежностные характеристики БПЛА определяются его структурой. На рисунке 2 приведена структурная схема организации типовой последовательной системы БПЛА.

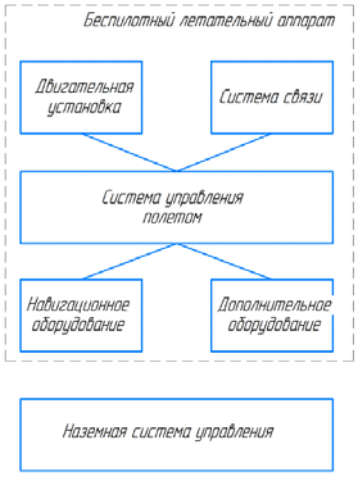


Рисунок 2 - Структура последовательной системы

БПЛА представляет собой стандартную систему с выделенной двигательной установкой, системой управления, системой связи, наземной системы управления и другими подсистемами.

Наравне с последовательной могут использоваться параллельные системы. Наиболее распространены смешанные последовательно-параллельные системы с тройным дублированием системы управления полетом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспилотные летательные аппараты. Проблемы проектирования и эксплуатации : монография / Н.В. Горячев, Д.С. Ергалиев, А.В. Полтавский, Н.Д. Кошелев, Н.К. Юрков. - Пенза : Изд-во ПГУ, 2023. - 322 с.

2. Мельничук А. И., Горячев Н. В., Юрков Н. К. Способы и средства противодействия беспилотным летательным аппаратам // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 4 (32). С. 131–138.

3. Полтавский А. В., Тюгашев А. А., Юрков Н. К. Оптимизация информационно-измерительной системы беспилотого воздушного судна // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 4 (36). С. 44–55.

4. Юрков Н. К., Горячев Н. В., Мельничук А. И. Способ многофакторного функционального подавления беспилотного летательного аппарата // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2021. Т. 2. С. 95–99.

5. Полтавский А. В., Бурба А. А., Аверкин А. Е. [и др.]. Системные принципы создания и применения многоцелевых КБПЛА / под ред. проф. Н. Н. Бахтадзе. М. : ИПУ РАН, 2010. С. 102.

6. Нгуен Т. Л., Рыбаков И. М., Юрков Н. К. К проблеме классификации беСПИлотных летательных аппаратов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 1. С. 122–126.

7. Мельничук А. И., Горячев Н. В., Юрков Н. К. К проблеме синтеза многопозиционной радиолокационной станции обнаружения беСПИлотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 3 (39). С. 33–41.

8. Годунов, А.И. Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными /А.И. Годунов, С.В. Шишков, Н.К.Юрков//Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2014. Т. 1. С. 90-95.

9. Годунов, А.И. Система управления комплексными методами борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами /А.И. Годунов, С.В. Шишков, Н.К. Юрков//Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2014. Т. 1. С. 95-98.

10. Годунов, А.И. Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами/А.И. Годунов, С.В. Шишков, Н.К. Юрков// Труды Международного симпозиума Надежность и качество. Т. 1. Пенза: Изд-во ПГУ, 2014. - С. 90-95.

11. Годунов, А.И. Система управления комплексными методами борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами/ А.И. Годунов, С.В. Шишков, Н.К. Юрков //Труды Международного симпозиума Надежность и качество. Т.1 Пенза: Изд-во ПГУ, 2014. - С. 95-98.

12. Полтавский, А.В. Алгоритм определения индикатрисы излучения подвижного объекта на примерах робототехнического комплекса беспилотных летательных аппаратов// А.В. Полтавский, А.С. Жумабаева, Н.К. Юрков/ Надежность и качество сложных систем. 2015. № 3 (11). – С. 23-30.

13. Петрянин, Д. Л. Анализ систем защиты информации в базах данных / Д. Л. Петрянин, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2013. – Т. 1. – С. 115-122.

14. Multicriteria selection of the optimal variant of a complex system based on the interval analysis of fuzzy input data / A. Grishko, E. Danilova, N. Goryachev [et al.] // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2018 - Proceedings : 1, Moscow, 14–16 марта 2018 года. Vol. 2018-March. – Moscow, 2018. – P. 1-7. – DOI 10.1109/MWENT.2018.8337237. – EDN YHXILJ.

15. Полтавский, А.В. К проблеме модельного синтеза комплексов беспилотных летательных аппаратов//А.В. Полтавский, А.С. Жумабаева, Н.К. Юрков/ Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. - 2017. - № 1 (19). – С. 70-77.

УДК 004.89

Елисеев[1] Н.А., Ямшанов[2] К.Л., Шмалько[3] Е.Ю.

[1] Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

[2,3] Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Москва, Россия

[1] eliesevna@student.bmstu.ru

[2] yam.kostya@yandex.ru

[3] e.shmalko@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ КОЛЁСНОГО РОБОТА

Аннотация. Статья рассматривает задачу построения качественной модели движения колёсного робота, ключевого этапа в разработке законов управления для объекта. Универсальным подходом является использование современных нейросетевых методов для идентификации объекта. В работе представлена методика построения смешанной нейросетевой модели на основе многослойного перцептрона для колёсного робота с дифференциальным управлением. Генерация обучающей выборки осуществляется на основе заранее определённых траекториях движения. Проводится сравнительный анализ результатов обучения моделей на различных типах данных, а также анализ влияния различных траекторий на качество выхода модели.

Ключевые слова: колёсный робот, нейронные сети, идентификация, дифференциальное управление, обучающая выборка

Eliseev[1] N.A., Yamshanov[2] K.L., Shmalko[3] E.Yu.

[1,3] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

[2,3] Federal Research Center "Informatics and Management" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[1] eliesevna@student.bmstu.ru

[2] yam.kostya@yandex.ru

[3] e.shmalko@gmail.com

THE STUDY OF THE PROBLEM OF FORMING A TRAINING SAMPLE TO IDENTIFY THE NEURAL NETWORK MODEL OF A WHEELED ROBOT

Annotation. The article considers the task of building a qualitative model of the movement of a wheeled robot, a key stage in the development of control laws for an object. A universal approach is to use modern neural network methods to identify an object. The paper presents a technique for constructing a mixed neural network model based on a multilayer perceptron for a wheeled robot with differential control. The training sample is generated based on pre-determined motion trajectories. A comparative analysis of the results of training models on different types of data is carried out, as well as an analysis of the influence of different trajectories on the quality of the model output.

Keywords: wheeled robot, neural networks, identification, differential control, educational sampling

Построение качественной модели движения автономного робота является одним из ключевых этапов при создании роботов. Чем точнее получится модель, тем лучше на ней можно создать алгоритмы локализации, навигации и управления в целом.

На сегодняшний день, большинство существующих моделей роботов основываются на известных физико-математических законах [1]. Однако такой подход подразумевает большой объем ручного труда по выведению требуемых соотношений и часто сводится к значительным упрощениям, не дающим необходимого понимания динамики движения робота. Вывод более сложных уравнений, описывающих модель робота подробно, влечёт большие затраты, как временные, так и материальные. Стремительное развитие отрасли робототехники требует от разработчиков и конструкторов разработки универсальных, быстрых и в то же время эффективных решений для определения моделей роботов.

Современным решением является построение нейросетевой модели робота, что позволяет идентифицировать объект напрямую [2-5]. Нейронные сети способны обучаться на примерах и являются универсальным аппроксиматором. Существует множество различных моделей нейронных сетей и методов обучения [6]. Несмотря на различия в методах обучения и структуре моделей нейронных сетей, общим для них является использование обучающей выборки, состоящей из наблюдений, для корректировки весов (задача параметрической идентификации моделей нейронных сетей).

Как правило, на практике можно сформировать обучающую выборку разными способами, но размер выборки ограничен. Проблема формирования обучающей выборки включает в себя решение задачи выбора описательного набора признаков и решение задачи выбора образцового подмножества из имеющегося набора наблюдений, позволяющее синтезировать хорошую модель с наименьшими затратами ресурсов. Обучающая выборка, например, в задаче распознавания образов характеризуется следующим набором важных свойств [7]: репрезентативность, монотонность, полнота, размерность, противоречивость, единообразие, компактность расположения классов в пространстве признаков, сложность. Для таких свойств, как неоднородность, повторяемость, сложность, в [8] были предложены численные критерии, которые их характеризуют. Однако некоторые критерии не отражают всей полноты свойств обучающих выборок и применимы не ко всем задачам.

Рассмотрим колёсного робота с дифференциальным управлением. При движении вперёд и назад на все колёса подаётся одинаковое напряжение, а при поворотах налево и направо подаётся большее напряжение на правые и левые колёса соответственно.

Для описания объекта в общем случае используем модель в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}), \quad (1)$$

где $\boldsymbol{x}$ - вектор состояния объекта управления, $\boldsymbol{x} \in X \subseteq \mathbb{R}n$, $\boldsymbol{u}$ - вектор управления, $\boldsymbol{u} \in U \subseteq \mathbb{R}m$, U - компактное множество, $m \leq n$, $\mathbf{f}$ - вектор-функция, описывающая динамику объекта.

В общем случае можно идентифицировать сразу всю правую часть системы дифференциальных уравнений, т.е. считать вектор-функцию $\mathbf{f}$ полностью неизвестной и требующей определения с помощью нейронной сети. Однако, с ростом числа подлежащих идентификации зависимостей растёт и количество требуемых ресурсов, куда входят размерность и разнообразность обучающей выборки и комплексность структуры нейронной сети. Возникает необходимость упрощения вычислительной нагрузки. В работе используется смешанный подход к идентификации [9], подразумевающий частичное знание о вектор-функции $\mathbf{f}$, исходя из кинематических соотношений:

$$\begin{cases} \dot{x} = v\cos(\theta), \\ \dot{y} = v\sin(\theta), \\ \dot{\theta} = \omega, \end{cases} \quad (2)$$

где x, y, θ – переменные состояния робота, v – линейная скорость робота, w – угловая скорость робота, v и ω являются компонентами управления робота.

Однако, реальный робот не способен мгновенно изменять свои скорости согласно подаваемому управлению в соответствии с (2). Поэтому в систему уравнений, описывающих модель объекта управления, необходимо добавить еще уравнения, определяющие динамические свойства объекта. Для численной реализации задачи идентификации представим модель в конечно-разностной форме с временным шагом Δt:

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + \Delta t \cdot v_k \cdot \cos(\theta_k) \\ y_{k+1} = y_k + \Delta t \cdot v_k \cdot \sin(\theta_k) \\ \theta_{k+1} = \theta_k + \Delta t \cdot w_k \\ v_{k+1} = F^v(v_k, w_k, u_k^v, u_k^w, \Delta t) \\ w_{k+1} = F^w(v_k, w_k, u_k^v, u_k^w, \Delta t) \end{cases} \quad (4)$$

В задаче смешанной нейросетевой идентификации необходимо определить с помощью нейронной сети функции изменения линейной и угловой скоростей $F^v(v_k, w_k, u_k^v, u_k^w, \Delta t)$ и $F^w(v_k, w_k, u_k^v, u_k^w, \Delta t)$, которые выражают влияние различных факторов на движение робота, например, трение, инерция, неравномерное распределение массы робота, функционирование неизвестного низкоуровневого регулятора. Обучаемая нейросетевая функция с параметрами принимает на вход текущее состояние робота, вектор управления и временной шаг, и выдает состояние робота в следующий момент времени.

Задача структурной идентификации модели нейронной сети не является фокусом внимания в данной работе, поэтому в качестве структуры нейронной сети был выбран MLP (от англ. MultiLayer Perceptron – многослойный перцептрон) на основе рекомендаций, представленных в других исследованиях [6, 10].

При применении нейронных сетей в задаче идентификации динамических моделей возникает ряд проблем, требующих дополнительной проработки и исследования. Так, например, при решении задачи распознавания объекта с помощью нейронных сетей, желаемый результат известен заранее, тогда как в задаче получения качественной модели объекта управления сначала нужно определиться с тем, какую часть динамики объекта необходимо учесть. Таким образом, обучающая выборка должна отражать наиболее важные для моделирования свойства.

Репрезентативность – это свойство выборки отражать значимые для задачи параметры универсальной совокупности (на практике при неизвестных характеристиках универсальной совокупности это свойство обеспечивается адекватным размером и полнотой выборки). Полнота выборки определяется классовой обеспеченностью экземпляров. Однородность выборки показывает, насколько равномерно распределены выборочные экземпляры по классам.

Создадим множество файлов, содержащих множество значений управлений для определённых моментов времени ($\Delta t = 0.03$ с). Так как данных для обучения нужно много, поэтому сгенерируем их согласно заранее определённым правилам. Для начала определим, какие траектории в целом помогут адекватно описать систему, по аналогии с задачей классификации определим классы движений, которые должна учитывать искомая модель. Положим, что такими классами являются проезд по кругу, по прямой, поворот на месте, проезд по спирали и по S-образной траектории, также в качестве эксперимента добавим в выборку класс случайных управлений.

Все значения линейных и угловых скоростей были ограничены по максимальным значениям, указанных в документации TurtleBot3 Waffle Pie [4] (0,26 м/с для линейной скорости и 1,82 рад/с для угловой скорости).

Полученные траектории необходимо проверить на возможность и необходимость их добавления в обучающую выборку для нейронной сети. Это делается исходя из двух предположений: с одной стороны, какие-то данные могут испортить обучающую выборку, с другой стороны, каких-то данных недостаточно для обучения.

Код для обучения модели написан с использованием фреймворка PyTorch.

В качестве метрики, определяющей качество модели и точность её предсказаний вдоль траектории будем использовать средний модуль поступательного смещения ATE (от англ. Absolute Translation Error):

$$ATE = \frac{1}{N}\sum_{t=0}^{N}\sqrt{(x_t - \hat{x}_t)^2 + (y_t - \hat{y}_t)^2}, \quad (4)$$

где N - количество точек в траектории; x_t, y_t - координаты точки фактической траектории; $\hat{x}_t$, $\hat{y}_t$ - координаты точки предсказанной траектории.

Качество предсказаний по углу курса будем оценивать при помощи модуля среднего отклонения MAE (от англ. Mean Absolute Error):

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{t=0}^{N}|yaw_t - \hat{yaw}_t|. \quad (5)$$

Так как наша задача сводится к предсказанию временных рядов, то применим многошаговую функцию потерь. Таким образом, мы избавимся от стремления модели предсказывать положения робота около центра траектории. С математической точки зрения при обучении модели будет минимизироваться отклонение предсказанных состояний $\{x_k\}_{k=n}^{n+N}$ от истинных $\{\hat{x}_k\}_{k=n}^{n+N}$ на отрезке траектории $k \in [n, n+N]$.

$$Loss = \sum_{k=n}^{n+N}(x_k - \hat{x}_k)^2. \quad (6)$$

Начало отрезка n выбирается случайно, параметр N настраиваемый. Предсказание состояний $\{x_k\}_{k=n}^{n+N}$ делается последовательно, начиная с известного начального состояния $\hat{x}_n$. При этом в нейросеть на каждом шаге, кроме первого, подаётся предыдущее предсказание:

$$\begin{cases} x_{k=n+1} = F(\hat{x}_n, \Delta t) \\ x_{k>n+1} = F(x_{k-1}, \Delta t) \end{cases} \quad (7)$$

При обучении ошибка одного предсказанного состояния x_k влияет на работу нейросети на всех предыдущих шагах, так как градиент при обратном распространении ошибки, передаётся дальше через x_{k-1}, которая является выходом нейросети на предыдущем шаге.

Экспериментально было выявлено [7], что траектория предсказывается лучше при $N > 1$, так как наличие шума в данных и конечный размер обучающей выборки приводят к переобучению модели. Многошаговая функция потерь значительно снижает дисперсию градиента при использовании градиентного спуска в качестве оптимизационного алгоритма обучения нейросети.

Для проведения сравнительного эксперимента была выбрана базовая и неизменяемая в рамках данной работы структура нейросети: коэффициент learning rate = 0.001; оптимизационный алгоритм – Adam Optimizer; количество слоёв = 4; количество эпох обучения = 25; параметр многошаговой функции потерь N = 15; нейронов в скрытых слоях = 64; скрытая функция активация – ReLU.

Из описанных выше траекторий, были сформированы 6 наборов данных:

Поворот + движение по окружности (далее circle+rotate);

Поворот + движение по окружности + поворот на месте (далее circle+rotate+inplace);

Поворот + движение по окружности + поворот на месте + движение по спирали (далее circle+rotate+inplace+spiral);

Поворот + движение по окружности + поворот на месте + движение по спирали + движение по S-образной траектории (далее circle+rotate+inplace+spiral+sstyle);

Поворот + движение по окружности + поворот на месте + движение по S-образной траектории (далее circle+rotate+inplace +sstyle);

Поворот + движение по окружности + поворот на месте + движение по спирали + движение по S-образной траектории + случайные управления (далее full);

Выборки были поделены на тестовые и обучающие. В качестве тестовых данных были взяты 20% от всех. Размер полученных выборок представлен в таблице 1.

Размеры выборок Таблица 1

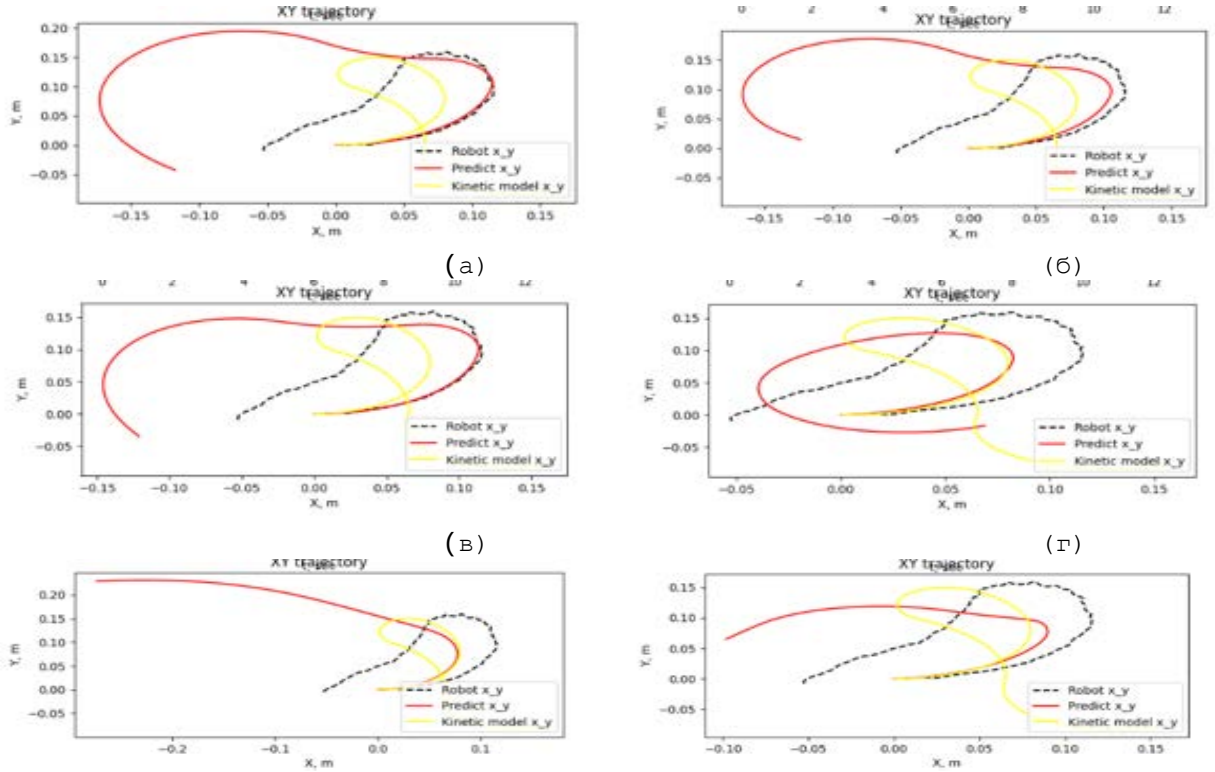
Набор	Размер обучающей выборки	Размер тестовой выборки
circle+rotate	249	62
circle+rotate+inplace	262	65
circle+rotate+inplace+spiral	862	215
circle+rotate+inplace+spiral+sstyle	1180	295
circle+rotate+inplace +sstyle	580	145
full	1498	374

Покажем наилучший результат по каждому набору данных на валидационной траектории. Наилучший результат выберем в точке минимума потерь на валидационной выборке. Результат исследования представлен в сравнительной таблице 2.

Сравнительная таблица наборов данных Таблица 2

Набор	Номер шага	Потери на обучении	Потери на валидации	ATE	MAE
circle+rotate	32	8.45*10-6	0.004958	0.07421	1.003
circle+rotate+inplace	30	1.22*10-5	0.004765	0.07114	1.013
circle+rotate+inplace+spiral	28	7.06*10-6	0.004191	0.06914	1.239
circle+rotate+inplace+spiral+sstyle	50	1.81*10-5	0.003092	0.06582	1.146
circle+rotate+inplace +sstyle	26	3.2*10-5	0.01114	0.1141	2.053
full	50	1.01*10-4	0.002358	0.05928	0.6403

На Рис.1 показаны полеченные траектории на валидационных данных. Пунктиром указана траектория робота в симуляторе, красным - предсказанная траектория на нейронной сети, жёлтым - траектория по кинематической модели.



(а) (б)

(в) (г)

(д) (е)

Рисунок 1 - Траектории для наборов данных: а) - circle+rotate; б) - circle+rotate+inplace; в) - circle+rotate+inplace+spiral; г) - circle+rotate+inplace+spiral+sstyle; д) - circle+rotate+inplace +sstyle; е) – full

Рассматривая в совокупности данные из таблицы 2 и полученные графики, можно прийти к выводу, что S-образные траектории и случайные управления портят данные, и из-за этого модель старается предсказывать околонулевые значения. Это видно из графиков, где траектория с добавление этих наборов данных начинает сильно заворачиваться к центру. С другой стороны, использование только данных при движении по окружности и с поворотом недостаточны для адекватного описания динамики, что видно из тех же графиков.

В заключении можно сделать вывод, что при рассмотрении данных только из таблицы, наиболее перспективным, можно предположить, является использование полного набора данных, однако, анализ получаемых траекторий, как видно из графиков, приводит к выводу, что необходимо соблюсти баланс между разнообразием выбираемых классов обучения и вычислительными возможностями нейронной сети. Таким образом, дальнейшее обучение будем выполнять на наборе данных circle+rotate+inplace+spiral.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Silverstrini S., Lavagna M. Deep Learning and Artificial Neural Networks for Spacecraft Dynamics, Navigation and Control // Drones, Vol. 6, 2022, Milan, Italy.

2. Шмалько Е.Ю., Румянцев Ю.А., Байназаров Р.Р., Ямшанов К.Л. Идентификация нейросетевой модели робота для решения задачи оптимального управления // «Информатика и автоматизация», 2021, Т. 20, № 6, с. 1254 -1278

3. Narendra K.S., Parthasarathy K. Identification and control of dynamical systems using neural networks // IEEE Trans. on Neural Networks, vol. 1, issue 1, 1990, pp. 4-27.

4. Dyda A.A., Oskin D.A., Artemiev A.V. Robot dynamics identification via neural network // IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Warsaw, Poland, 2015, pp. 918-923

5. Xu Jian'an Zhang Mingjun, Zhang Jian. Kinematic model identification of autonomous mobile robot using dynamical recurrent neural networks // IEEE International Conference Mechatronics and Automation, 2005, Niagara Falls, ON, Canada.

6. Haykin S. Neural Networks and Learning Machines - New York: Prentice Hall, 2009.

7. Dubrovin V.I., Subbotin S.A., Boguslaev A.V., Yatzenko V.K. Intelligent Means of Diagnosis and Reliability Prediction of Airengines: Monograph - Zaporozhye: Motor Sich JSC, 2003.

8. Oleshko D.N., Krisilov V.A., Blazhko, A.A. The Construction of Quality Training Set for Neural Network Predictive Models // Iskusstvennyi Intellect, 2004, no. 3, pp. 567–573.

9. Шмалько Е.Ю., Ямшанов К.Л. Смешанная нейросетевая идентификация модели мобильного робота для поддержки автономной навигации и управления // В сборнике: Прикладные проблемы системной безопасности. Елец, 2023. С. 117-120.

10. Williams G. et al. Aggressive driving with model predictive path integral control // 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2016. p.1433–1440.

11. TurtleBot URL: https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/features/.

12. Mohajerin N., Waslander S. L. Multistep prediction of dynamic systems with recurrent neural networks // IEEE Transactions on neural networks and learning systems. 2019. vol.30. no.11. pp. 3370–3383

УДК 355.433

Полтавский[1] А.В., Юрков[2] Н.К.

[1] Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия

[2] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] avp57avp@yandex.ru

[2] yurkov_nk@mail.ru

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРОНОВ-КАМИКАДЗЕ

Аннотация. В работе представлена одна из возможных моделей оценки боевой эффективности дронов-камикадзе (ударные беспилотные летальные аппараты). Рассматриваемая модель для оценки боевой эффективности дронов-камикадзе основана на традиционном подходе специалистов в области авиационных средств поражения (управляемых и неуправляемы), которые также исторически входят в модели комплекса авиационного вооружения с предназначением для поражения объектов-целей противника непосредственным (огневым) воздействием на них.

Ключевые слова: дрон-камикадзе, надежность, эффективность, модель

Poltavsky[1] A.V., Yurkov[2] N.K.

[1] V. A. Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[2] Penza State University, Penza, Russia

[1] avp57avp@yandex.ru

[2] yurkov_nk@mail.ru

A MODEL FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF KAMIKAZE DRONES

Annotation. The paper presents one of the possible models for evaluating the combat effectiveness of kamikaze drones (attack unmanned aerial vehicles-UAVs). The considered model for evaluating the combat effectiveness of kamikaze drones is based on the traditional approach of specialists in the field of aviation weapons (guided and unguided), which have also historically been included in the models of the aviation weapons complex (KAV) with the purpose of hitting enemy targets by direct (fire) impact on them.

Keywords: kamikaze drone, reliability, efficiency, model

Содержание понятия «поражение объекта» связано с ущербом, который наносится объекту в результате этого воздействия. Для одиночного объекта ущерб, как правило, определяется временем $T_п$, в течение которого объект вынужден не функционировать. Время $T_п$ зависит от поражаемого объекта и средства поражения, а также от ошибок наведения. Характеристики объекта и средства поражения, влияющие на величину $T_п$, носят случайный характер. Случайной, например, является реальная масса взрывчатого вещества (ВВ) боевой части, которым снаряжается средства поражения (СП), или реальная тяга для двигателя. Ошибки наведения, стрельбы и бомбометания тоже случайны. Поэтому время $T_п$ является случайной величиной. Как видно, поражение объекта- понятие вероятностное. По существу, это есть случайное событие, состоящее в том, что нанесенный объекту ущерб не равен нулю.

При планировании боевых действий важно знать численные значения ущерба, наносимого вероятному противнику. Именно поэтому общее понятие поражения объекта целесообразно сделать более конкретным. Практически оказывается достаточным одиночный объект рассматривать в трех состояниях: объект-цель уничтожена, объект-цель выведена из строя, объект-цель повреждена. Понятиям уничтожение, вывод из строя, повреждение объекта соответствуют заданные временные интервалы, в течение которых он не может функционировать. Условно уничтожение объекта называется поражением по типу А, вывод из строя- поражением по типу А, вывод из строя- поражением по типу В, повреждение по типу С.

Для группового объекта-цели ущерб определяется числом входящих в его состав пораженных одиночных объектов. При планировании боевых действий групповые объекты рассматриваются в трех состояниях: объект разгромлен, объект подавлен, объект дезорганизован. Разгрому объекта соответствует такое его состояние, при котором половина входящих в его состав одиночных объектов уничтожается. При подавлении половина одиночных объектов выводится из строя, при дезорганизации половина одиночных объектов получает повреждение.

Для площадного объекта ущерб U определяется относительным числом входящих в его состав пораженных одиночных объектов. При этом предполагается, что одиночные объекты по всей площади площадного объекта распределяются равномерно. Если S_o полная площадь, а S_n-пораженная площадь объекта, то ущербом U будет случайная величина:

$$U = S_п/S_o \qquad (1)$$

При планировании боевых действий площадные объекты, как и объекты групповые, можно рассматривать в трех состояниях: объект разгромлен, объект подавлен, объект дезорганизован. Цели, как и объекты, могут быть одиночными, групповыми, площадными. Понятие «поражение цели» адекватно понятию «поражение объекта».

Эффективность СП - это уровень функционального совершенства. Она определяется возможностями КАВ по обнаружению цели и выводу БПЛА в атаку, точностью прицеливания и оптимальностью организации применения средств поражения, характеристиками поражающего действия авиационных ракет, бомб и артиллерийского оружия. Высокая эффективность для КАВ обеспечивается также умелыми действиями экипажей и внешних пилотов БПЛА. Важно отметить, что все современные БПЛА (почти всех схем и видов) имеют основные и дополнительные

измерители для информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС), которые также входят в рассматриваемые системы (и подсистемы), модели и структуры, иерархически подчиняются задачам и основным показателям качества (боевой эффективности).

Количественным выражением боевой эффективности КАВ и разведывательно-ударных БПЛА является показатель, или критерий, эффективности W. Конкретный вид показателя эффективности зависит от типа цели и постановки боевой задачи (проводимой боевой операции).

При действии по одиночным целям боевая задача ставится так: цель должна быть уничтожена (поражена по типу А), или выведена из строя (поражена по типу В), или повреждена (поражена по типу С). Показателем эффективности W в этом случае будет вероятность поражения цели соответственно по типу А, В или С. Если P(А), P(С) соответственно вероятности поражения цели по типу А, В, С, то для одиночных целей

$$W = P(A); W = P(B); W = P(C). \quad (2)$$

При воздействии по групповым целям боевая задача ставится так: цель должна быть разгромлена, или цель должна быть подавлена, или цель должна быть дезорганизована. Обозначим: $A_Г, B_Г, C_Г$- события, состоящие в том, что при огневом воздействии по групповой цели не менее половины входящих в ее состав одиночных целей будет поражено соответственно по типу А, В или С. Тогда показателями эффективности поражения групповой цели будут:

$$W = P(A_Г); W = P(B_Г); W = P(C_Г), \quad (3)$$

где $P(A_Г), P(B_Г), P(C_Г)$ - соответственно вероятности событий $A_Г, B_Г, C_Г$.

Для целей площадных целей нетрудно получить формулы:

$$W = P(U_A \geq \frac{1}{2}); W = P(U_B \geq \frac{1}{2}); W = P(U_C \geq \frac{1}{2}), \quad (4)$$

если $U_A \geq \frac{1}{2}, U_B \geq \frac{1}{2}, U_C \geq \frac{1}{2}$- события, состоящие в том, что при огневом воздействии по площадной цели не менее половины всей площади будет относиться к площади целей, пораженных соответственно по типу А,В или С. Показатели боевой эффективности КАВ и БПЛА вида (2), (3), (4) используются при планировании боевых действий, когда в расчетах принимается W=$W_Т$, где $W_Т$- требуемая эффективность. При анализе результатов боевых действий удобно пользоваться показателями эффективности, равными средним значениям ущерба, наносимого цели.

Для одиночных целей ущерб $T_п$- время, в течение которого цель вынуждена не функционировать; для групповых целей ущерб N- число пораженных в том или ином смысле одиночных целей; для площадных целей ущерб U равен отношению (1). Показателями эффективности при анализе моделирования и результатов боевых действий будут:

для одиночных целей

$$W = M[T_п] \quad (5)$$

для групповых целей

$$W = M[N] \quad (6)$$

для площадных целей

$$W = M\left[\frac{S_п}{S_о}\right] \quad (7)$$

В (5), (6), (7) знаком M обозначена операция математического ожидания случайной величины.

Заключение. Оценке боевой эффективности посвящено достаточно много работ, но часто и сами специалисты «проходят мимо» основ для базиса как общего взгляда на оценку боевой эффективности. В открытой литературе по оценке боевой эффективности вооружения часто пользуются понятием элементарной цели. Элементарной называют цель, которая может быть только в двух состояниях: поражена или не поражена. Смысловое выражение к понятию поражения цели может придаваться любой смысл. За критерий эффективности в этом случае как на этапе планирования, так и на этапе анализа боевых действий БПЛА может приниматься вероятность поражения цели:

$$W=P(П), \quad (8)$$

где П- событие, состоящее в том, что цель поражена. Ущерб U- дискретная случая величина, способная с вероятностью Р(П) принимать значение единицы, а с вероятностью $P(\bar{П}) = 1 - P(П)$ - значение, равное нулю. Рассмотренный выше подход является обобщенным и требует более детальной проработки с реализацией, т.е. построения действующих схем из алгоритмов и прикладного программного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I. Kochegarov, E. T. Eskibaev, N. D. Koshelev, I. M. Rybakov and G. A. Anuar, "On the Problem of the Earth Remote Sensing by Unmanned Aircraft," 2023 XX Technical Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky (TSCZh), Moscow, Russian Federation, 2023, pp. 6-12, doi: 10.1109/TSCZh58792.2023.10233566.

2. Дмитриев, С. А. Анализ отказов и повреждений авиационных двигателей за период 2007-2020 гг / С. А. Дмитриев, Е. С. Симонова // Надежность и качество сложных систем. – 2023. – № 1(41). – С. 81-90. – DOI 10.21685/2307-4205-2023-1-10. – EDN VDEQHB.

3. Заяра, А. В. Моделирование кратных отказов в аппаратуре мобильных робототехнических комплексов / А. В. Заяра, В. П. Фандеев // Надежность и качество сложных систем. – 2023. – № 4(44). – С. 142-151. – DOI 10.21685/2307-4205-2023-4-13. – EDN HVGAJJ.

4. Мамонтов, Е. В. Человеческий фактор и безопасность полетов при управлении воздушным движением / Е. В. Мамонтов // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 1(37). – С. 41-45. – DOI 10.21685/2307-4205-2022-1-5. – EDN XJMBHT.

5. I. I. Kochegarov, E. A. Danilova, A. V. Lysenko, I. M. Rybakov and N. K. Yurkov, "A Technique for Determining Resonant Frequencies of Thin-Walled Cylindrical Structures for On-board Radioelectronic Equipment," 2023 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russian Federation, 2023, pp. 1-7, doi: 10.1109/WECONF57201.2023.10147928.

УДК 621.396.98.004.1

Завалишин О.И.
Научно-производственное предприятие фирма «Спектр», Пенза, Россия
kipra@pnzgu.ru

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ НА ЭТАПЕ ЗАХОДА НА ПОСАДКУ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В данной статье предложено использование интегрированной системы навигации и посадки как возможного дополнения для повышения целостности глобальной навигационной спутниковой системы. Перечислены задачи, решаемые интегрированной системой навигации и посадки. Приведены требования к количественным характеристикам навигационных средств интегрированной системы навигации и посадки. Приведена схема развёртывания интегрированной системы навигации и посадки. Рассмотрен алгоритм работы системы, состоящий из четырех режимов, которые могут применяться раздельно или совместно.

Ключевые слова: глобальная навигационная спутниковая система, интегрированная система навигации и посадки, оптико-электронная система, ультрафиолетовый маяк

Zavalishin O.I.
Research and production enterprise company "Spectrum", Penza, Russia
kipra@pnzgu.ru

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS ON THE USE OF AN INTEGRATED NAVIGATION SYSTEM AT THE APPROACH STAGE FOR VARIOUS OPERATING CONDITIONS

Annotation. In this article, the use of an integrated navigation and landing system is proposed as a possible complement to improve the integrity of the global navigation satellite system. The tasks solved by the integrated navigation and landing system are listed. The requirements for the quantitative characteristics of the navigation aids of the integrated navigation and landing system are given. The scheme of deployment of the integrated navigation and landing system is given. The algorithm of the system operation, consisting of four modes that can be used separately or jointly, is considered.

Keywords: global navigation satellite system, integrated navigation and landing system, optoelectronic system, ultraviolet beacon

Введение. В конце 20-го века сбылась давняя мечта воздухоплавателей иметь возможность круглосуточной навигации в любой точке мирового воздушного пространства по единой «бесшовной» сквозной системе. В гражданской авиации такими системами стали глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS. Данные системы стандартизированы Международной организацией гражданской авиации (ИКАО). Проблемы, связанные с постоянным изменением местоположения спутников, уходом часов спутников, неравномерной во времени и пространству средой распространения радиосигналов и другими факторами становятся существенными на этапах полёта воздушных судов (ВС), требующих ограниченного временного ресурса для принятия решения и выполнения действий экипажем ВС – инструментального точного захода на посадку и посадки ВС и могут привести к опасным инцидентам и даже к летным происшествиям. Все эти явления не могут быть учтены бортовой навигационной аппаратурой потребителя (НАП) и приводят к нарушению целостности определения координат воздушных судов.

Под целостностью понимается мера доверия - обратная величина вероятности необнаруженного отказа (при условии срабатывания сигнализации за заданное стандартами ИКАО время). Редким (но непредсказуемым) фактором нарушения целостности является искажение псевдослучайной последовательности (ПСП) на генераторе спутникового сигнала, которое не может быть обнаружено бортовой навигационной аппаратурой потребителей. Кроме того, существенное влияние на качество спутниковой навигации оказывает местная помеховая обстановка в районе аэродрома. Наилучшим способом борьбы с необнаруженными ошибками является измерение ошибок псевдодальностей в районе выполнения посадки или захода на посадку в реальном времени (а не расчет) и их незамедлительная (не позже 1 сек) передача в бортовую навигационную аппаратуру.

Специалисты экспертных групп ИКАО определили, что для использования СРНС ГЛОНАСС и GPS в качестве основного средства навигации необходимо повысить ее целостность за счет применения функциональных дополнений.

Повышение целостности функциональных дополнений к ГНСС с использованием интегрированной системы навигации и посадки

Для повышения целостности функциональных дополнений к Глобальной навигационной спутниковой системе (ГНСС) типа Ground Based Augmentation Systems (GBAS) в условиях сложной помеховой обстановки, аномальных ионосферных «мерцаний», подавления/«увода» радио сигналов ГЛОНАСС/GPS, а также при наличии несанкционированных препятствий на пути следования воздушного судна (ВС) в районе аэродрома (особенно горного) и при заходе на посадку, послепосадочном пробеге и рулении в условиях плохой видимости (туман/облачность) и ночью, а также для передачи по

оптическому и радиоканалам на борт ВС навигационной информации и специальных сигналов оповещения о недопустимых отклонениях от линии заданного пути предлагается использовать интегрированную систему навигации и посадки (ИСНП).

Интегрированная система навигации в районе аэродрома и при точном заходе на посадку (ИСНП) разработана для спутниковой навигации и посадки воздушных судов на основе совместной обработки данных от источников ГНСС, наземного функционального дополнения ЛККС и оптического многодиапазонного навигационного канала.

Элементы интегрированной системы навигации и посадки на основе дуальной обработки данных систем ГЛОНАСС/GPS, наземного функционального дополнения ЛККС и оптического многодиапазонного навигационного канала (ИСНП) применяются в сложных метеоусловиях (туман, облачность) при заходе на посадку для решения следующих задач [1; 2]:

обеспечение навигации в локальной зоне при отказе спутниковой группировки ГЛОНАСС и/или GPS [3];

обеспечение формирования дополнительных радионавигационных и оптико-электронных полей для позиционирования и надежной навигации ВС в условиях сложной помеховой радио обстановки, полного или частичного отсутствия спутниковых сигналов ГЛОНАСС/GPS, а также при постановке «уводящих» радиосигналов;

обеспечение навигационных характеристик для захода на посадку и посадки ВС в сложных погодных условиях путем совместной обработки данных ГЛОНАСС/GPS и дополнительных оптико-электронных полей;

обеспечение передачи по радиоканалам на борт служебной информации, в том числе дифференциальных поправок для навигационной аппаратуры GPS/ГЛОНАСС, блока посадочных данных FAS в соответствии со стандартами ИКАО, а также по оптико-электронному каналу навигационной информации и специальных сигналов оповещения о заходе в зону воздушного пространства вне параметров требуемых навигационных характеристик (RNP);

обеспечение навигации в условиях чрезвычайных ситуаций, в том числе и в условиях подавления сигналов GPS/ГЛОНАСС за счет включения в радионавигационное поле оптического навигационного поля и передачи служебной информации по оптическому каналу;

позиционирование ВС на подходе к ВПП независимым от радиоканалов способом;

выдача информации для звуковой и световой сигнализации в случае наличия препятствий по курсу полета на небезопасном удалении, обнаруженных с помощью ультрафиолетовых (УФ) и инфракрасных (ИК) приемников;

непрерывный автоматический контроль работоспособности системы;

наземная комплексная обработка навигационной информации от ГЛОНАСС/GPS и оптико-электронных датчиков и выдачу ее результатов службам Организации воздушного движения (ОрВД) аэродрома;

передача координатной информации от оптико-электронных датчиков в бортовой вычислитель для комплексной обработки с ГЛОНАСС/GPS данными по протоколу ARINC 429.

Разработанная аппаратура интегрированной системы навигации и посадки ВС на базе совместной обработки данных систем ГЛОНАСС/GPS, наземной системы функционального дополнения GBAS и оптического многодиапазонного навигационного канала может быть использована в качестве радиотехнического и светосигнального оборудования аэродромов ГА, специальной, испытательной и государственной авиации, вертодромах и вертолетных площадках, а также в авиакомпаниях и самолето/вертолето строительных конструкторских бюро [4].

Пользователями и объектами применения данной аппаратуры являются авиакомпании, службы Управления воздушным движением (УВД), ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», аэродромные службы, технические службы вертолетных площадок, вертодромов, быстро разворачиваемых вертолетных площадок особенно в северных и дальневосточных регионах со сложными метеоусловиями, низкой облачностью, частыми туманами и сложным рельефом местности.

Требования к количественным характеристикам навигационных средств ИСНП соответствуют стандартам ИКАО и отражены в нижеследующей таблице 1:

Схема развёртывания ИСНП

Схема развертывания ИСПН представлена на рисунке 1.

Для обеспечения заданной точности источники навигационных датчиков в минимальной конфигурации необходимо располагать следующим образом:

В условиях подавления спутниковых навигационных сигналов для обеспечения навигационно-посадочных функций необходима установка наземных оптических маркеров оптико-электронной системы (ОЭС) (от трех до шести штук).

Требования к количественным характеристикам навигационных средств ИСНП [4] Таблица 1

Типовая Операция [77]	Точность в горизонтальной плоскости 95%	Точность по вертикали 95%	Целостность	Время до предупреждения	Непрерывность	Эксплуатационная готовность	Соответствующий (е) тип RNP (м. мили)
На трассе	3700 м (2 м. мили)	Не назначена	0,9999999 на 60 минут	300 сек	От 0,9999 до 0,99999999 в час	От 0,99 до 0,99999	От 10 до 20
На трассе в районе аэродрома	740 м (0,4м.мили)	Не назначена	0,9999999 на 60 минут	15 сек	От 0,9999 до 0,99999999 в час	От 0,99 до 0,99999	От 1 до 5
Начальный заход [2]. Промежуточный заход. Неточный заход (NPA). Вылет.	220 м (720 фт.)	Не назначена	0,9999999 на 60 минут	10 сек	От 0,9999 до 0,99999999 в час	От 0,99 до 0,99999	От 0,5 до 0,3
Неточный заход на посадку с наведением в вертикальной плоскости (APV-I)	220 м (720 фт.)	20 м (66 фт.)	0,9999998 на заход	10 сек	0,999992 в любые 15 с.	От 0,99 до 0,99999	0,3/125
Неточный заход на посадку с наведением в вертикальной плоскости (APV-II)	16 м (52 фт)	8,0 м (26 фт.)	0,9999998 на заход	6 сек	0,999992 в любые 15 с.	От 0,99 до 0,99999	0,03/50
Категорированный точный заход на посадку по кат. I	16 м (52 фт)	От 6,0 м до 4,0 м (20-13 фт)	0,9999998 на заход	6 сек	0,999992 в любые 15 с.	От 0,99 до 0,99999	0,02/40

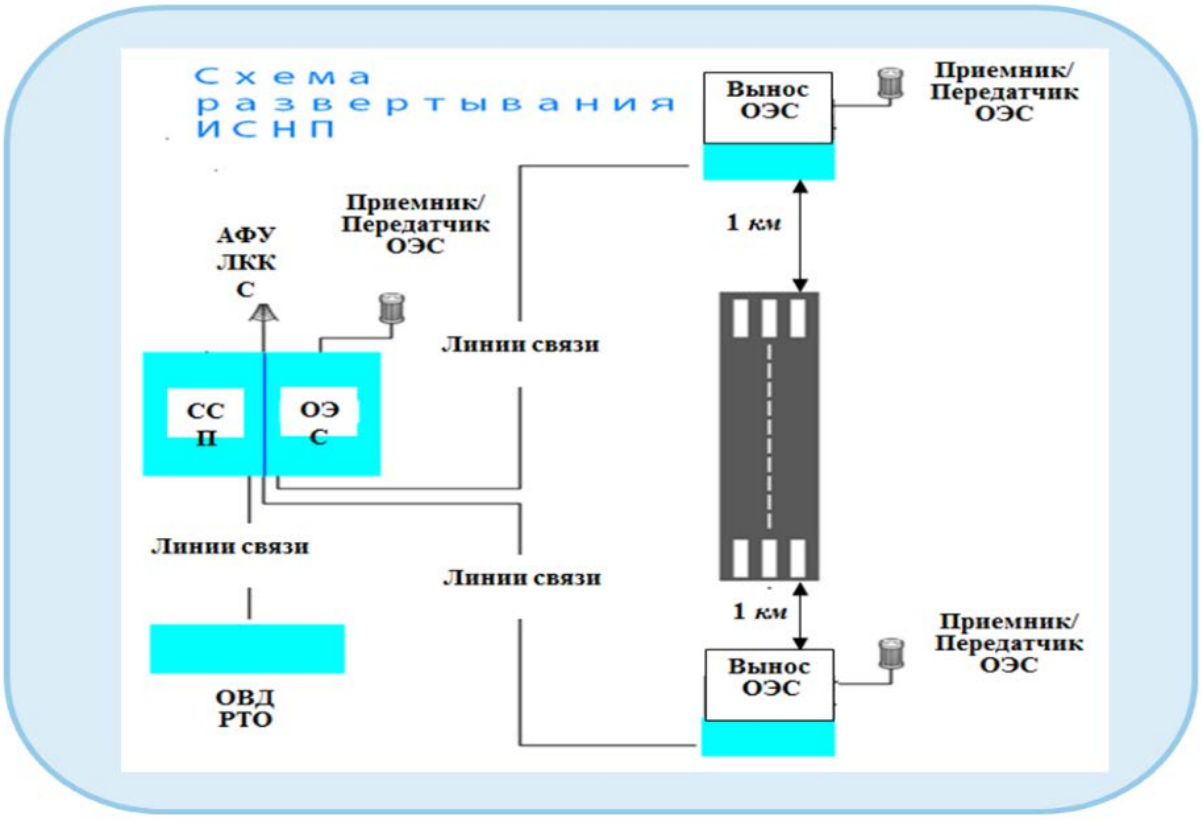


Рисунок 1 - Схема развёртывания ИСНП
ОЭС – оптико-электронная система,
ССП – спутниковая система посадки

ОЭС способна определять по данным ультрафиолетовых маяков (УФ) программно-модулируемых датчиков местоположение ВС как на земле, так и в воздухе, а также определять препятствия (электрические провода, трубы, машины на взлётно-посадочной полосе (ВПП) и др.), в том числе в условиях облачности и тумана, особенно в сложных метеоусловиях, на пути следования воздушного судна. В международной практике такая технология получила название EVS (Enhanced Vision System).

Реализация данной технологии имеет важное значение для высокоточной навигации, визуализации препятствий, обеспечения посадки, а также позволяет

ликвидировать отставание российской промышленности в области развития EVS и CNC технологий для гражданской, государственной и бизнес авиации [5,6].

Для обеспечения навигации при нахождении ВС в аэродромной зоне и на посадке после точки входа в глиссаду на предпосадочной прямой на удалении до 5000 метров от ВПП предлагается в качестве дополнительного канала к спутниковому каналу (и интегрированному с ним) оптико-электронная подсистема ультрафиолетового (УФ) диапазона, обеспечивающая дополнительный контроль спутникового радиоканала в штатной ситуации и обеспечивающая навигацию при отказе радиоканала.

Система строится на основе двух типовых модулей: УФ импульсного излучателя на базе эксимерной лампы (УФ маяк) и УФ приемника на базе монофотонных технологий.

В минимальной конфигурации на борту размещается один широкоугольный фотоприемник, синхронизированный с одним УФ широконаправленным источником. Приемник выполняет функции контроллера и осуществляет обмен с бортовым оборудованием.

Алгоритм работы системы состоит из четырех режимов, которые могут применяться раздельно или совместно:

А) наблюдение наземными УФ приемниками маяков на ВС. Это обеспечивает обнаружение ВС и определение его положения в пространстве;

В) наблюдение УФ приемником ВС маяков на аэродроме и определение угловых направлений на маяки и углового расстояния между маяками;

С) обмен данными полученными наземной и бортовой подсистемами между собой и формирование интегрированной информации;

Д) синхронные измерения бортовой и наземной подсистемами и совместное измерение с высокой точностью дальностей между ВС и наземными маяками.

Следует обратить внимание, что измерения проводятся в собственных системах координат, и необходимо осторожно применять преобразования в другие системы, чтобы не ухудшить точность измерений при преобразованиях.

Заключение

В данной работе были получены рекомедации по повышению целостности ГНСС за счёт использования интегрированной системы навигации и посадки.

В работе получены следующие результаты:

Приведены требования к количественным характеристикам

навигационных средств интегрированной системы навигации и посадки, соответствующие стандартам ИКАО;

Разработана схема расположения элементов интегрированной

системы навигации и посадки.

Приведён алгоритм работы системы, состоящий из четырех режимов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на изобретение. 2542325 РФ. Способ локации воздушного судна / Завалишин О.И. – Заявлено 24.07.2013; Опубликовано 20.02.2015, Бюл. № 5.

2. Патент на изобретение. 2497079 РФ. Способ фотонной локации воздушного объекта / Завалишин О.И. – Заявлено 07.06.2012; Опубликовано 27.10.2013, Бюл. № 30.

3. Завалишин О.И. О двухсозвёздных GBAS // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2018. - № 03. – Том 21. - С. 37-46.

4. Затучный Д.А., Завалишин О.И. Методы повышения помехоустойчивости навигационных систем воздушных судов гражданской авиации. - Информационно-аналитический журнал «Радиоэлектронные технологии», №2/ 2019 (21), Стр. 70-74.

5. Затучный Д.А. Метод повышения помехоустойчивости пилотажно-навигационных комплексов воздушных судов гражданской авиации на основе комплексного использования различных бортовых систем. - Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество», Пенза, 2019, Том 1, стр. 23-26

6. Северцев Н.А., Кузин Н.А., Юрков Н.К., Васюнин Д.И. Безопасность сложных динамических систем на фоне внешних воздействий. - Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество», Пенза, 2023, Том 1, стр. 109-115.

УДК 629.7.05

Бодин[1] О.Н., Трофимов[2] А.А., Целикин[3] К.Д.

[1] Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия
[2,3] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1] bodin_o@inbox.ru
[2] alex.t1978@mail.ru
[3] kdts777@yandex.ru

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ В БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы являются критически важными устройствами в различных областях применения обеспечивая возможности автономной навигации. Программируемые логические интегральные схемы стали незаменимыми инструментами для повышения производительности бесплатформенных инерциальных навигационных систем. В этой статье рассматриваются преимущества использования программируемых логических интегральных схем в бесплатформенных инерциальных навигационных системах, разъясняется их роль в оптимизации объединения датчиков, обеспечении обработки в режиме реального времени, повышении адаптивности и повышении энергоэффективности

Ключевые слова: программируемые логические интегральные схемы, бесплатформенные инерциальные навигационные системы, навигация, объединение датчиков, обработка в реальном времени, адаптивность, энергоэффективность

Bodin[1] O.N., Trofimov[2] A.A., Tselikin[3] K.D.

[1] Penza State Technological University, Penza, Russia
[2,3] Penza State University, Penza, Russia
[1] bodin_o@inbox.ru
[2] alex.t1978@mail.ru
[3] kdts777@yandex.ru

ADVANTAGES OF USING PROGRAMMABLE LOGIC INTEGRATED CIRCUITS IN FREE-FORM INERTIAL NAVIGATION SYSTEMS

Annotation. Free-form inertial navigation systems are critically important devices in various applications providing autonomous navigation capabilities. Programmable logic integrated circuits have become indispensable tools for improving the performance of BINS. This article discusses the advantages of using FPGAs in BINS, explains their role in optimizing sensor integration, providing real-time processing, increasing adaptability and increasing energy efficiency

Keywords: programmable logic integrated circuits, free-form inertial navigation systems, navigation, sensor integration, real-time processing, adaptability, energy efficiency

Введение. БИНС представляют собой уникальное и все более важное средство, предназначенное для навигации в средах, которые создают значительные проблемы для определения положения в пространстве, включая ограниченную видимость и непредсказуемый рельеф, требуя надежных, адаптивных и высокоточных навигационных решений [1]. Центральным элементом эффективности БИНС является интеграция данных от множества инерциальных датчиков, включая акселерометры и гироскопы, для оценки положения, скорости и ориентации транспортного средства относительно известной начальной точки. Однако для достижения точной навигации в среде требуется нечто большее, чем просто данные датчиков. Для этого требуются сложные алгоритмы объединения датчиков, компенсации ошибок и оценки траектории, работающие в режиме реального времени для предоставления полезной навигационной информации [2].

Внедрение программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) в БИНС обеспечивает высокую гибкость, вычислительную мощность и адаптивность. Настраиваемая логика и возможность параллельной обработки ПЛИС, стали незаменимыми инструментами при разработке встроенных модулей БИНС, позволяя инженерам преодолевать присущие им трудности навигации в динамичных и непредсказуемых средах.

Цель этой статьи – показать преимущества, предоставляемые интеграцией ПЛИС в БИНС. Разъясняя конкретные функции и возможности ПЛИС в оптимизации объединения датчиков, обеспечении обработки в режиме реального времени, повышении адаптивности и повышении энергоэффективности следует подчеркнуть их ключевую роль в повышении точности, надежности и универсальности БИНС.

1 Оптимизированное объединение датчиков. БИНС основаны на объединении данных от различных инерциальных датчиков для точного определения положения, скорости и ориентации движущегося транспортного средства относительно известной начальной точки. Однако среды, где внешние ориентиры ограничены или отсутствуют, создают сложности, которые могут снизить производительность алгоритмов объединения датчиков. Инерциальные датчики подвержены таким ошибкам, как смещение, дрейф и шум, которые могут накапливаться с течением времени и влиять на точность навигационных решений. Кроме того, интеграция данных с нескольких датчиков сопряжена с такими проблемами, как несоосность датчиков, ошибки масштабного

коэффициента и чувствительность к поперечным осям, что еще больше усложняет процесс объединения.

ПЛИС предлагают мощную платформу для реализации этих сложных алгоритмов объединения датчиков в БИНС. Их возможности параллельной обработки и настраиваемая логика обеспечивают эффективное выполнение навигационных алгоритмов даже в условиях ограниченных ресурсов. ПЛИС может выполнять объединение данных датчиков, компенсацию ошибок и калибровку датчиков, оптимизируя точность и надежность навигации. На рисунке 1 представлена разработанная авторами блок-схема БИНС на основе ПЛИС:

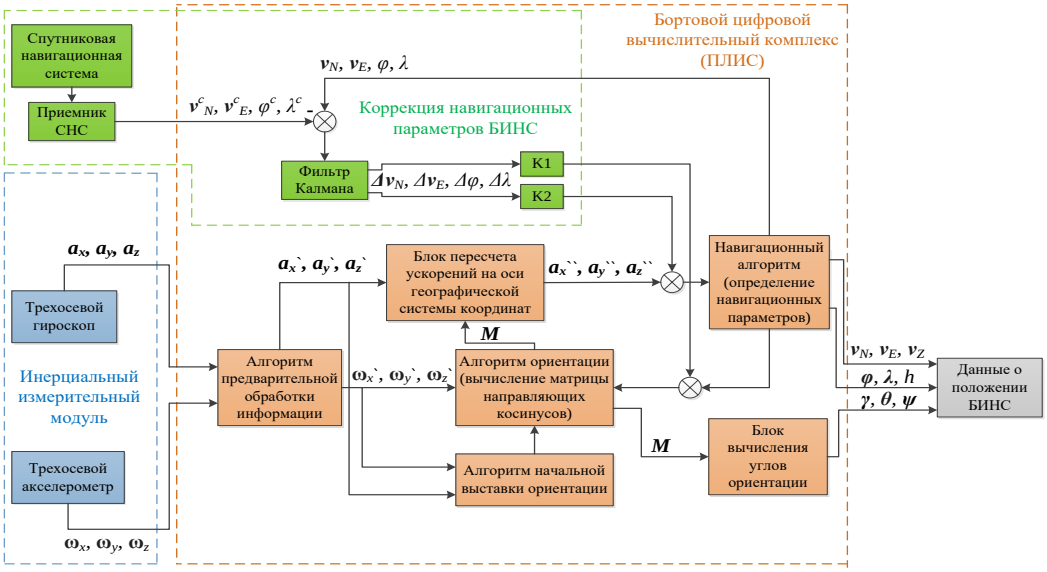


Рисунок 1 - Блок-схема бесплатформенной инерциальной навигационной системы на основе ПЛИС

Кратко опишем работу предлагаемой структуры БИНС. Данные об угловой скорости и ориентации поступают с трехосевого гироскопа, а данные о линейном ускорении поступают с трехосевого акселерометра, после чего они обрабатываются в ПЛИС. Для правильного функционирования БИНС необходимо задать начальные условия. Данные со спутниковой навигационной системы предназначены для коррекции данных, поступающих с гироскопа и акселерометра. В результате обработки данных, производимых в ПЛИС, на выходе БИНС формируются данные о положении беспилотного транспортного средства. На рисунке 2 показана реализация ПЛИС в БИНС для оптимизации объединения датчиков и интерфейсов:

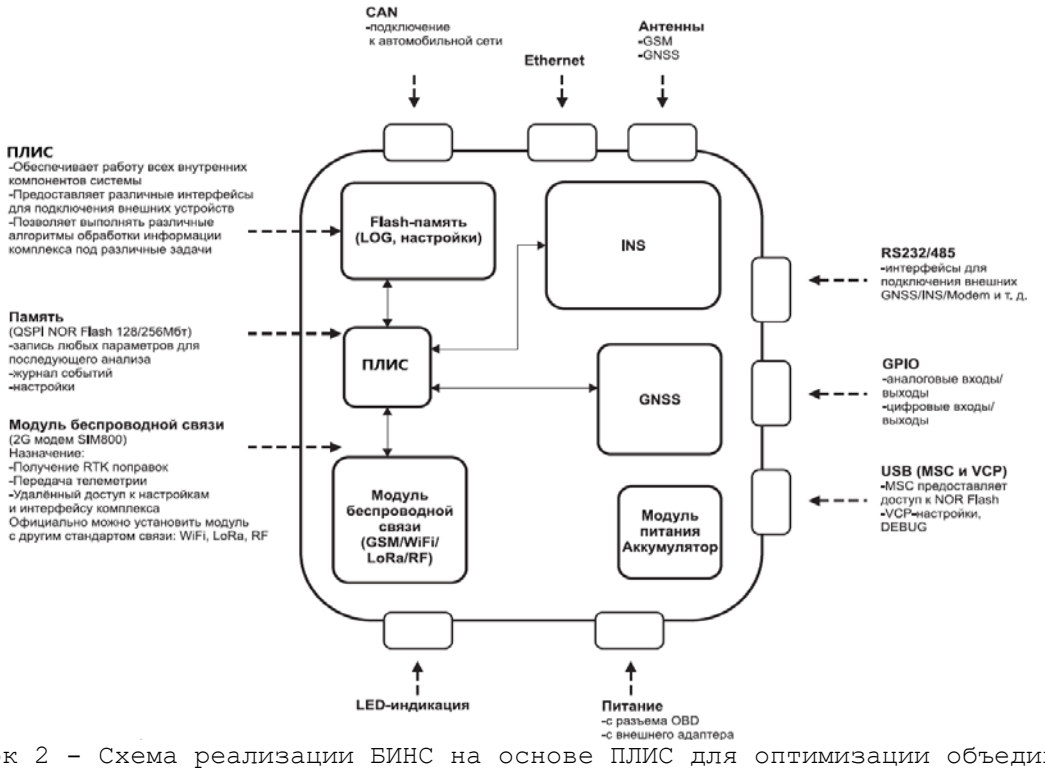


Рисунок 2 – Схема реализации БИНС на основе ПЛИС для оптимизации объединения датчиков и интерфейсов

По сравнению с микроконтроллерами с помощью ПЛИС, возможно, объединить большее количество датчиков интерфейсов, что приводит к улучшению функциональности БИНС. ПЛИС, по сравнению с микроконтроллерами, представляет из себя микросхему позволяющую реализовать сложный алгоритм обработки данных с многих устройств. Таким образом, с помощью ПЛИС возможно обеспечить лучшее обеспечение оптимизации объединения датчиков и интерфейсов по сравнению с микроконтроллерами, что приводит к улучшению гибкости и функциональности при построении структуры БИНС на основе ПЛИС.

2 Обработка в реальном времени. При воздействии внешних воздействующих факторов динамика движения может быстро меняться, что требует мгновенной корректировки навигационных решений для поддержания точности траектории движения. Возможность обработки данных в режиме реального времени позволяет системе быстро реагировать на колебания в измерениях датчиков, условиях окружающей среды и эксплуатационных условиях. Своевременная обработка необходима для предотвращения задержек, которые могут привести к неточностям в оценке траектории движения, что может привести к навигационным ошибкам или столкновению с препятствиями.

Обеспечение обработки данных в режиме реального времени сопряжено с огромными проблемами, включая вычислительную сложность, задержки и ограниченность ресурсов. Алгоритмы навигации должны выполнять сложные вычисления в строгих временных ограничениях, чтобы соответствовать требованиям производительности в реальном времени. Интеграция ПЛИС является эффективным решением задач обработки данных БИНС в реальном времени. Одним из ключевых преимуществ ПЛИС является их способность выполнять несколько задач одновременно посредством параллельной обработки. Этот параллелизм позволяет системе обрабатывать несколько входов датчиков одновременно, позволяя слияние данных датчиков в режиме реального времени и быструю генерацию навигационных решений. На рисунке 3 находятся временные диаграммы, которые показывают, что ПЛИС может реализовать в себе множественные задачи и функции, которые будут происходить параллельно в режиме реального времени:

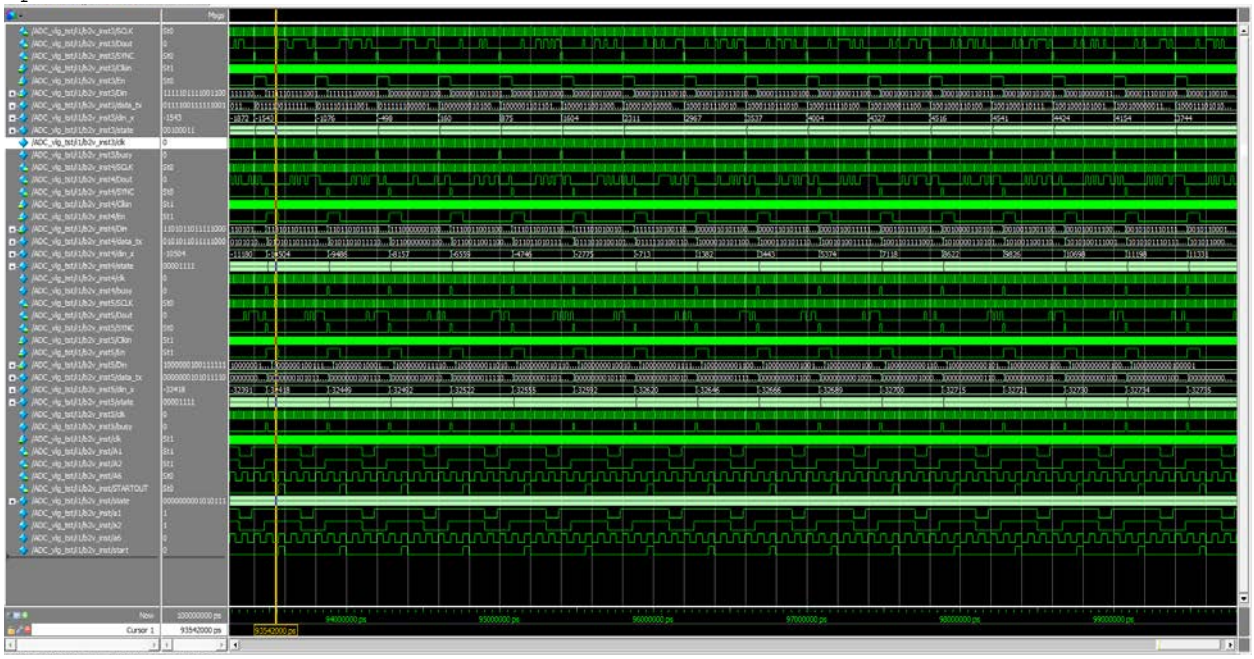


Рисунок 3 – Временная диаграмма, показывающая обеспечение работы в реальном времени

Еще одним преимуществом ПЛИС является их настраиваемая логика, позволяющая проектировщикам адаптировать аппаратную архитектуру к конкретным алгоритмам навигации и потребностям обработки. Реализуя алгоритмическую логику непосредственно в аппаратном обеспечении, ПЛИС ускоряют критические вычисления, такие как матричные операции или алгоритмы фильтрации, что приводит к существенным улучшениям в скорости и эффективности обработки. Кроме того, ПЛИС обеспечивают гибкость итеративного совершенствования алгоритмов для непрерывной оптимизации производительности. Как можно заметить, ПЛИС обеспечивает более высокий параллелизм по сравнению с микроконтроллерами, что необходимо для задач алгоритмов БИНС. Используя возможности ПЛИС, БИНС может преодолеть проблемы обработки данных в режиме реального времени и достичь оптимальных навигационных характеристик в динамических и непредсказуемых средах.

3 Энергоэффективность. Для задач, требующих длительной эксплуатации в условиях ограниченных ресурсов энергоэффективность является одной из важнейших при проектировании БИНС. Применение ПЛИС повышает энергоэффективность в БИНС, оптимизируя потребление энергии и продлевая срок службы. ПЛИС используются с учетом соображений, связанных с низкой мощностью, и включают в себя различные методы минимизации энергопотребления в процессе эксплуатации [3]. Эти методы позволяют ПЛИС динамически регулировать энергопотребление на основе рабочей нагрузки и требований к производительности.

Например, в периоды бездействия или низкой рабочей нагрузки ПЛИС могут переходить в состояние низкой мощности для сохранения энергии [4]. Простаивающие методы управления питанием, такие как режимы сна и режимы отключения питания, позволяют ПЛИС снижать энергопотребление при сохранении основных функций, таких как таймеры пробуждения или мониторинг датчиков. Разумно управляя состояниями питания, БИНС на основе ПЛИС могут продлевать срок службы батареи и продлевать рабочее время.

Кроме того, ПЛИС поддерживают динамические стратегии управления энергопотреблением, которые адаптируют энергопотребление с учетом рабочей нагрузки системы и условий окружающей среды. Методы динамического управления питанием, такие как масштабирование напряжения и частоты, позволяют ПЛИС динамически регулировать ресурсы обработки в соответствии с меняющимися требованиями к производительности. Масштабируя энергопотребление в режиме реального времени, ПЛИС оптимизируют энергоэффективность, сохраняя при этом отзывчивость и надежность.

ПЛИС также позволяют использовать энергоэффективные методы синтеза датчиков, которые оптимизируют алгоритмы обработки данных и синтеза для минимизации энергопотребления. С помощью выборочной обработки и слияния данных датчиков на основе релевантности и важности, ПЛИС могут уменьшить вычислительные накладные расходы и энергопотребление без ущерба для навигационной точности. Энергосберегающие методы синтеза датчиков способствуют общей энергоэффективности при сохранении навигационных характеристик.

ПЛИС обычно потребляют энергию в зависимости от используемых ресурсов и частоты работы. Для такого сложного устройства как БИНС энергопотребление ПЛИС может варьироваться от 0,01 до 5 Вт. Микроконтроллеры, как правило, предназначены для работы с низким энергопотреблением. Однако для реализации сложных алгоритмов, таких как объединение датчиков для инерциальной навигации, может потребоваться значительная вычислительная мощность, что потенциально может привести к более высокому энергопотреблению по сравнению с ПЛИС. Особенно при выполнении интенсивных вычислений. Например, при реализации БИНС на основе ПЛИС, ПЛИС будет потреблять около 0,2 Вт, то реализация БИНС на основе микроконтроллера может потреблять от 500 до 1 Вт мощности, в зависимости от сложности алгоритмов и тактовой частоты необходимой для работы.

4 Адаптивность и настройка. В БИНС адаптируемость и настройка имеют первостепенное значение для разработки алгоритмов навигации к конкретным требованиям применения и условиям окружающей среды. Интеграция ПЛИС облегчает адаптацию и настройку БИНС, обеспечивая большую гибкость в реализации алгоритмов, позволяя разработчикам настраивать алгоритмы навигации в соответствии с уникальными требованиями каждой задачи. На рисунке 4 пример реализации адаптивного алгоритма БИНС в ПЛИС:

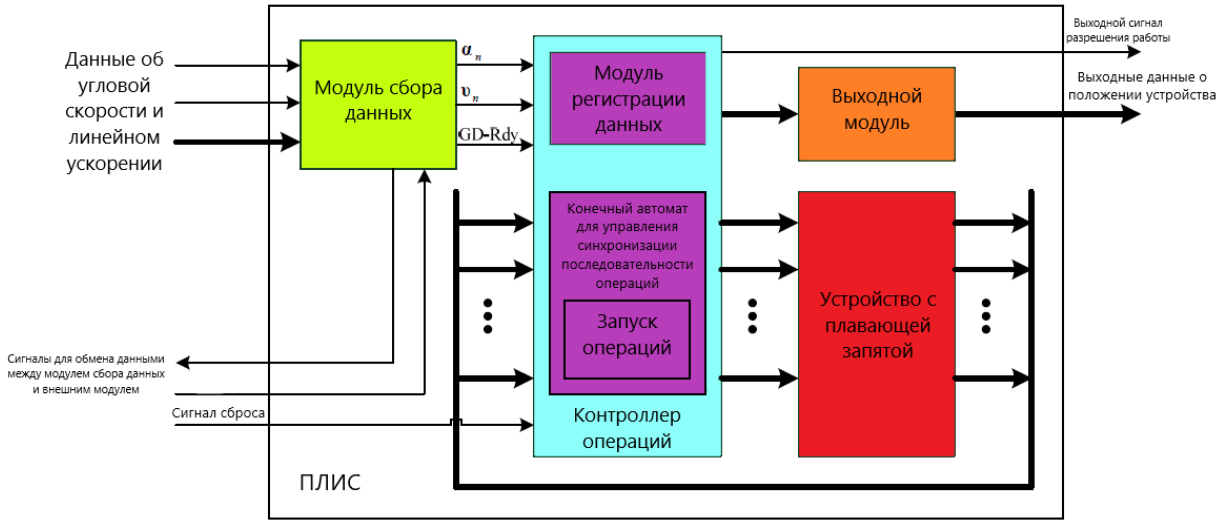


Рисунок 4 - Реализация адаптивного алгоритма БИНС в ПЛИС

Каждый сценарий навигации сопряжен с определенными проблемами и ограничениями, требующими специальных стратегий оптимизации. ПЛИС позволяют разработчикам оптимизировать навигационные алгоритмы для конкретных сценариев применения, таких как аэрокосмическая, наземная или подводная навигация. Системы БИНС на основе ПЛИС могут регулировать навигационные алгоритмы в движении, обеспечивая надежную работу в динамических и сложных условиях. Настраиваемый характер ПЛИС позволяет плавно интегрировать методы слияния датчиков, адаптированные к конкретным требованиям каждого применения. В микроконтроллерах по сравнению с ПЛИС намного сложнее реализовать адаптивный алгоритм для БИНС.

Таким образом, ПЛИС обладают уникальным набором преимуществ, таких как параллелизм, реконфигурируемость, низкоуровневое управление и оптимизированная производительность, что делает их хорошо подходящими для реализации адаптивных алгоритмов, требующих сложных вычислений и адаптации в режиме реального времени. Адаптируемость и настройка позволяют системам БИНС на основе ПЛИС достичь оптимальной производительности и надежности в динамических и сложных навигационных сценариях.

Заключение. Интеграция ПЛИС приводит к значительному прогрессу в разработке БИНС, предлагая множество преимуществ, которые повышают производительность, надежность и адаптируемость в сложных условиях. Существуют различные преимущества, которые ПЛИС дают БИНС, включая оптимизированный синтез датчиков, обработку в реальном времени, адаптивность и энергоэффективность. Необходимо привести сравнительную таблицу ПЛИС и микроконтроллера, который чаще всего используется в качестве основного модуля для реализации алгоритмов в БИНС. В таблице 1 показана сравнительная таблица ПЛИС и микроконтроллера.

Сравнение использования ПЛИС и микроконтроллера для БИНС Таблица 1

Критерий	ПЛИС	Микроконтроллер
Гибкость	Высокая гибкость и реконфигурируемость, возможность реализации пользовательских аппаратных функций	Менее гибкий, предназначенный для решения конкретных задач
Параллелизм	Поддерживает параллельную обработку, подходит для задач, требующих высокого параллелизма	Ограниченный параллелизм по сравнению с ПЛИС
Производительность	Высокая производительность, особенно при выполнении параллельных задач	Обычно более низкая производительность по сравнению с ПЛИС
Задачи в реальном времени	Подходит для задач реального времени с детерминированным поведением	Способен выполнять задачи в режиме реального времени, но может иметь менее детерминированное поведение
Настройка	Позволяет настраивать аппаратное обеспечение на логическом уровне, обеспечивая индивидуальные решения для конкретных приложений	Ограниченная настройка на аппаратном уровне, главным образом путем модификации встроенного программного обеспечения
Время разработки	Более длительное время разработки из-за аппаратного проектирования и процесса синтеза	Более короткое время разработки, поскольку программирование обычно выполняется на языках более высокого уровня
Стоимость	Более высокая первоначальная стоимость из-за сложности и программируемости	Более низкая первоначальная стоимость по сравнению с ПЛИС
Энергоэффективность	Как правило, более высокое энергопотребление из-за настраиваемой логики и ресурсов маршрутизации, но с помощью специальных методов можно уменьшить энергопотребление ПЛИС до уровня микроконтроллера	Более низкое энергопотребление, особенно в режимах с низким энергопотреблением
Практическое применение	Идеально подходит для приложений, требующих высокой производительности и гибкости, таких как обработка сигналов, изображений и криптография	Широко используется во встраиваемых системах, устройствах Интернета вещей и бытовой электронике для решения задач управления и базовой обработки

Зеленным цветом указаны преимущества, а красным недостатки микросхем. Таким образом, в то время как ПЛИС обеспечивают высокую гибкость и производительность для задач параллельной обработки, микроконтроллеры обеспечивают экономичное решение с меньшим энергопотреблением и более быстрым временем разработки для последовательных задач и приложений управления. Исходя из рассмотренных характеристик можно сделать вывод, что ПЛИС лучше подходит для использования в БИНС чем микроконтроллер. В заключение следует отметить, что интеграция ПЛИС улучшает БИНС, открывая новые возможности для автономной навигации в сложных условиях. Используя преимущества ПЛИС, системы БИНС могут достичь высоких уровней точности, надежности и эффективности, прокладывая путь к достижениям в области автономных навигационных технологий и создавая возможности для применения в широком спектре областей, включая робототехнику, аэрокосмическую отрасль и транспорт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Балабаев О.С., Прохорцов А.В. Сравнительный анализ методов начальной выставки БИНС на подвижном объекте // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. №11. С. 389-395.

2 Богословский А. В., Разиньков С. Н., Сёмка Э. В., Буслаев А. Б. Применение программируемых логических интегральных схем в системах многоканальной цифровой обработки сигналов спутниковой навигации // Вестник кибернетики. 2023. Т. 22, № 2. С. 13-20.

3 Носкова, Е.С. Повышение энергоэффективности нейросетевых вычислений с использованием NVDLA на ПЛИС/ Е.С. Носкова, И.Е. Захаров, Ю.Н. Шкандыбин, С.Г. Рыкованов // Компьютерная оптика. 2022. Т. 46, № 1. С. 160-166.

4 Смирнов А.А. Использование метода внесения цифровых предискажений для повышения энергоэффективности инфокоммуникационных радиосредств // Труды МАИ. 2019. №105. С. 1-23.

5 Андреев С. В., Власов М. А., Ильиных В. В. Обеспечение надёжности и качества программного обеспечения навигационной системы беспилотного летательного аппарата путем улучшения технологии отработки и испытаний // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2018. Т. 2. С. 32-34.

6 Башкиров А. В., Муратов А. В. Преимущество параллельных алгоритмов цифровой обработки сигналов над последовательными алгоритмами при реализации на ПЛИС // Вестник ВГТУ. 2012. №1. С. 89-92.

7 Игошина М.С. Архитектуры современных ПЛИС: преимущества и недостатки // Теория и практика современной науки. 2021. №11 (77). С. 228-231.

8 Коркишко Ю.Н., Федоров В.А., Патрикеев А.П., Чернодаров А.В., Матюшин В.А., Переляев С.Е. Объектно-ориентированная технология интеграции навигационных измерителей и её реализация в бесплатформенной инерциальной навигационной системе БИНС-1000 на волоконно-оптических гироскопах //Доклады XVI Санкт-Петербургской межд. конф. по интегрированным навигационным системам, 25-27 мая 2009. С. 21-30.

9 Матвеев В.В. Инерциальные навигационные системы: Учебное пособие. Изд-во ТулГУ, 2012.-199 с.

10 Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем, СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2009.

11 Мелешко В.В., Нестеренко О.И. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы, Кировоград: Полимед-Сервис, 2011.

12 Нечаев Е.Е. К вопросу построения интегрированных навигационных систем на базе плис // Научный вестник МГТУ ГА. 2008. №136. С. 85-95.

13 Николаев А. В., Папко А. А., Поспелов А. В.. Разработка алгоритмов управления режимами работы резонатора волновых твердотельных гироскопов на основе совокупности методов усреднения и анализа измерительных цепей // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2018. Т. 1. С. 88-91.

14 Толеген А., Керимбаев А., Ергалиев Д. С., Бимбетова М.. Методы повышения эффективности перспективных систем навигации // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2022. Т. 1. С. 6-8.

15 Шерстнев В. В., Безбородова О. Е., Бодин О. Н. К вопросу о надежности системы навигации беспилотных воздушных судов, используемых в чрезвычайных ситуациях // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2020. Т. 1. С. 81-84.

УДК 697.953

Ерофеев[1] С.А., Сайфулин[2] Д.А., Тен[3] Е.

[1,2,3] Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия

[1] stp_2009@mail.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Аннотация. В процессе эксплуатации системы отопления салона автомобиля нередко возникает необходимость в диагностике ее компонентов. Такая ситуация возникает, например, при приобретении нового вентилятора отопителя с целью проверки соответствия номинальным показателям, которым должно удовлетворять устройство. Кроме того, возникает потребность в адекватной диагностике изделия при его неисправной работе. Например, самопроизвольное отключение вентилятора во время работы может быть вызвано как внешними причинами, такими как проблема с электропроводкой, так и внутренними причинами, связанными с износом щеток и/или коллектора, загрязнением и/или коррозией в площадках контакта втулок с валом, что может приводить к предотвращению его вращения и останову крыльчатки. Так как в настоящее время в автосервисах, как правило, фактически отсутствует возможность диагностики вентилятора в автономном режиме, что чревато неверной идентификацией, в статье представлен разработанный макет стенда для испытания вентилятора в различных режимах его работы. Макет ориентирован на использование доступных и дешевых компонентов. Разработанная конструкция испытана как на новом вентиляторе, так и на изделии с серьезным износом коллектора. Приведенные в статье результаты свидетельствуют о корректности работы и удобности предлагаемого аппаратного оснащения. Схема измерения, реализованная в испытательном стенде, может быть применена для диагностики аналогичных вентиляторов, которые используются на множестве современных машин.

Ключевые слова: вентилятор, система отопления, диагностика, автомобиль

Yerofeyev[1] S.A., Saifulin[2] D.A., Ten[3] E.

[1,2,3] Saint Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. M. A. Bonch-Bruevich, Saint Petersburg, Russia

[1] stp_2009@mail.ru

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TEST BENCH FOR COMPLEX DIAGNOSTICS FANS OF HEATING SYSTEMS

Annotation. During the operation of the car interior heating system, it is often necessary to diagnose its components. Such a situation arises, for example, when purchasing a new heater fan in order to verify compliance with the nominal values that the device must meet. In addition, there is a need for an adequate diagnosis of the product in case of malfunction. For example, spontaneous shutdown of the fan during operation can be caused by both external causes, such as an electrical wiring problem, and internal causes related to wear of the brushes and/or collector, contamination and/or corrosion in the contact areas of the bushings with the shaft, which can lead to preventing its rotation and stopping the impeller. Since currently in car service stations, as a rule, there is actually no possibility of diagnosing the fan in offline mode, which is fraught with incorrect identification, the article presents a developed layout of the stand for testing the fan in various modes of operation. The layout is oriented towards the use of affordable and cheap components. The developed design has been tested both on a new fan and on a product with severe collector wear. The results presented in the article indicate the correct operation and convenience of the proposed hardware. The measurement scheme implemented in the test bench can be used to diagnose similar fans that are used on many modern machines.

Keywords: fan, heating system, diagnostics, car

Одним из ключевых компонентов вентиляционных систем отопления является вентилятор отопителя, целевое назначение которого заключается в создании однонаправленного потока воздуха, ускоренного до определенного уровня в зависимости, например, от положения регулятора скорости вращения вентилятора в автомобиле (рис. 1).

Контур системы охлаждения двигателя включает в себя два радиатора: первый радиатор находится в подкапотном пространстве, второй радиатор – в салоне автомобиля. Будем называть первый радиатор основным, второй – салонным. Охлаждающая жидкость проходит через эти радиаторы. В то же время поток воздуха, формируемый вентилятором отопителя, проходит через салонный радиатор, за счет этого контакта нагревается, распределяется по воздуховодам и поступает через дефлекторы в салон. Таким образом система отопления поддерживает комфортную температуру воздуха в автомобиле, а направление исходящего потока воздуха на стекла позволяет просушить их и обеспечить нормальную видимость.

Изначально поток воздуха в вентиляторе создается за счет электромагнитного двигателя, на валу которого установлена крыльчатка (рис. 2).

Работа электромагнитного двигателя в составе вентилятора подробно описана в [1]. Речь идет о том, что конструкция включает в себя неподвижный статор с магнитами и вращающийся ротор, на валу которого и находится крыльчатка. Скорость вращения крыльчатки, то есть скорость вращения вентилятора, устанавливается с помощью регулятора (рис. 1), который меняет сопротивление реостата, за счет чего меняется ток, подаваемый на разъемы двигателя вентилятора. Приведем значения тока из [1] применительно к разным положениям регулятора:

положение 0: вентилятор не вращается;
положение 1: на вентилятор подается 3,5 ампера;
положение 2: на вентилятор подается 6,3 ампера;
положение 3: на вентилятор подается 11 ампер;
положение 4: на вентилятор подается 18 ампер.



Рисунок 1 - Регулятор скорости вращения вентилятора



Рисунок 2 - Крыльчатка вентилятора

Исходя того, что входное напряжение на разъемах вентилятора всегда равно 12 В, можно определить сопротивление:

положение 1: сопротивление 3,43 Ом;
положение 2: сопротивление 1,9 Ом;
положение 3: сопротивление 1,09 Ом;
положение 4: сопротивление 0,67 Ом.

Эти четыре положения формируют 4 уровня скорости вращения:

положение 1: скорость вращения 1500 об/мин;
положение 2: скорость вращения 2000 об/мин;
положение 3: скорость вращения 2500 об/мин;
положение 4: скорость вращения 3000 об/мин.

Приведенные выше значения частоты вращения являются номинальными показателями. Ток передается на вентилятор посредством подпружиненного контакта медно-графитовых щеток, которые представляют собой прямоугольные стержни, и коллектора с медным покрытием [1]. В процессе работы слой меди на коллекторе постепенно истончается, что впоследствии чревато образованием участков на поверхности, лишенных медного покрытия (рис. 3).



Рисунок 3 - Изношенный коллектор



Рисунок 4 - Блок питания для стенда

Кроме того, уменьшается длина щеток, и сочетание укороченных щеток с изношенной поверхностью коллектора приводит к ухудшению токопередачи и снижению скорости вращения. Для создания адекватной модели электродвигателя [1], учитывающей зависимость эффективности работы вентилятора от износа, была поставлена задача разработать стенд, с помощью которого можно было бы измерять скорость вращения крыльчатки в зависимости от величины поступающего тока. Стенд должен имитировать описанные выше четыре положения регулятора.

В первую очередь в качестве генератора был выбран компьютерный блок питания мощностью 350 Вт (рис. 4), преобразующий 220 В переменного тока в 12 В постоянного тока, необходимые для двигателя вентилятора.

Для подачи 12 В были выбраны желтые и черные провода; желтые провода были скручены в один пучок, черные провода – в другой. Пучок черных проводов подключается напрямую к одному из разъемов вентилятора, тогда как пучок желтых проводов подсоединяется к двухпозиционному переключателю S1 (рис. 5).

В положении 1-2 переключатель S1 устанавливает передачу тока по маршруту 1 или 2, тогда как в положении 3-4 токопередача выполняется по маршруту 3 или 4. За окончательный выбор тракта отвечают двухпозиционные переключатели S2 и S3. Номера маршрутов соответствуют нумерации положений регулятора. Маршруты отличаются различными сопротивлениями, значения которых приведены выше.

Для реализации указанных выше сопротивлений была выбрана нихромовая проволока, которой можно придать спиралевидную форму. Длину нихромового участка можно подобрать по формуле:

$$L = \frac{\pi d^2 R}{4\rho}$$

где d – диаметр проволоки, R – требуемое сопротивление, ρ = 1,1 Ом*мм²/м – удельное сопротивление нихрома. Таким образом, для первого сопротивления (R_1= 3,43 Ом) и второго

сопротивления (R_2= 1,9 Ом) длины участков из проволоки диаметром 0,4 мм должны быть равны:

$L_1 = \frac{\pi d^2 R_1}{4\rho}$= 39,2 см, $L_2 = \frac{\pi d^2 R_2}{4\rho}$= 21,7 см.

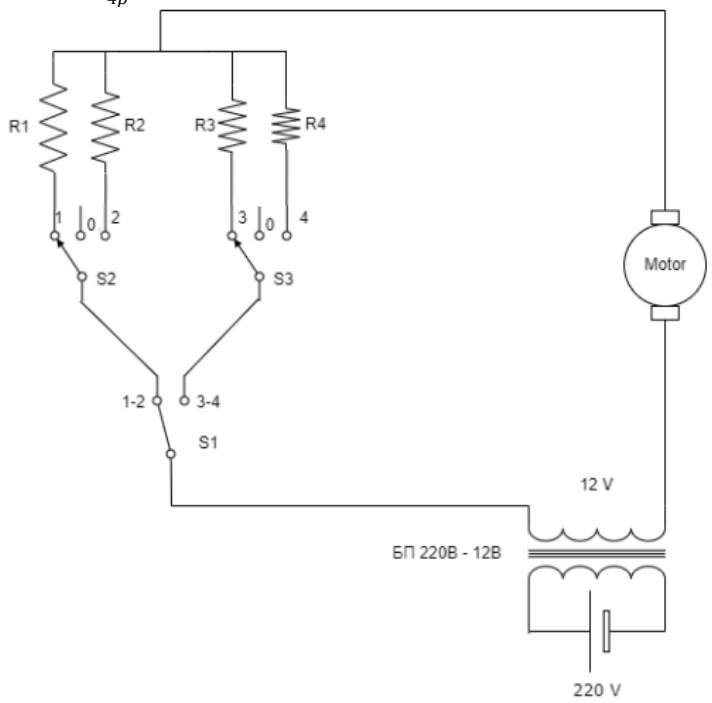


Рисунок 5 - Электрическая схема питания двигателя

При подборе спиралей надо обращать внимание еще и на тепловую мощность, рассеиваемую в проводнике, которую можно определить как произведение тока на напряжение или произведение квадрата тока на сопротивление. При превышении определенного порога проводник перегревается и сгорает. Для первых двух сопротивлений мощность нагрева равна 42 Вт и 75,4 Вт, что приемлемо. Для третьего сопротивления (R_3=1,09 Ом) тепловая мощность составила бы 131,9 Вт, и рассеивание такой мощности в нихромовой проволоке приводит к ее перегоранию. В связи с этим было решено для третьего маршрута сделать не одиночную, а двойную спираль. При этом сопротивление каждой из двух спиралей (R_{32}) в два раза больше, чем у одной, и ток в каждой ветке двойной спирали определяется по формуле:

$I_{32} = \frac{U}{R_{32}} = \frac{U}{2 \cdot R_3} = \frac{12}{2 \cdot 1{,}09} = 5{,}5$ А

Тогда тепловая мощность, рассеиваемая в каждой из веток спирали:

$P_{32} = (I_{32})^2 R_{32} = 5{,}5^2 \cdot 2 \cdot 1{,}09 = 65{,}95$ Вт

то есть в два раза меньше по сравнению с одинарной спиралью. Длина каждой ветки сдвоенной спирали определяется выражением:

$L_{32} = \frac{\pi d^2 R_{32}}{4\rho}$= 24,9 см

Если бы тракт четвертого сопротивления включал бы в себя одиночную спираль, в проводнике рассеивалась бы мощность примерно 217 Вт. С учетом такого высокого показателя было решено на четвертом маршруте сделать тройную нихромовую спираль. Сопротивление каждой из спиралей (R_{43}) в три раза больше, чем у одиночной, и ток в каждой ветке тройной спирали:

$I_{43} = \frac{U}{R_{43}} = \frac{U}{3 \cdot R_4} = \frac{12}{3 \cdot 0{,}67} = 5{,}97$ А

Тепловая мощность, рассеиваемая в каждой ветке спирали:

$P_{43} = (I_{43})^2 R_{43} = 5{,}97^2 \cdot 3 \cdot 0{,}67 = 71{,}6$ Вт

Длина каждой ветки тройной спирали:

$L_{43} = \frac{\pi d^2 R_{43}}{4\rho}$= 23 см,

В качестве S1, S2 и S3 используются обычные клавишные переключатели (рис. 6); четыре тракта с нихромовыми спиралями реализованы на одной платформе (рис. 7).

Ток после прохождения участка с выбранным сопротивлением поступает на вентилятор (рис. 5), который в стенде закреплен на кронштейне. Вторая часть стенда сориентирована на измерение скорости вращения. В качестве регистратора используется инфракрасный датчик препятствий HW-201 (рис. 8).

Датчик работает как оптическое устройство, которое фиксирует попадание контрольной метки, установленной на крыльчатке, в зону испускаемого датчиком луча. При каждом таком попадании регистрируется сигнал, и количество таких сигналов можно сопоставить с количеством оборотов вентилятора. Сами сигналы в стенде фиксируются с помощью микроконтроллера Arduino Uno, который был

запрограммирован на считывание данных с датчика, расчет скорости вращения и вывод ее на консоль в режиме реального времени. Кроме того, полученные значения скорости вращения записывались в файл журнала, который впоследствии использовался для построения графиков значений скорости вращения в течение определенного периода времени. В собранном виде стенд выглядит так, как показано на рис. 9.

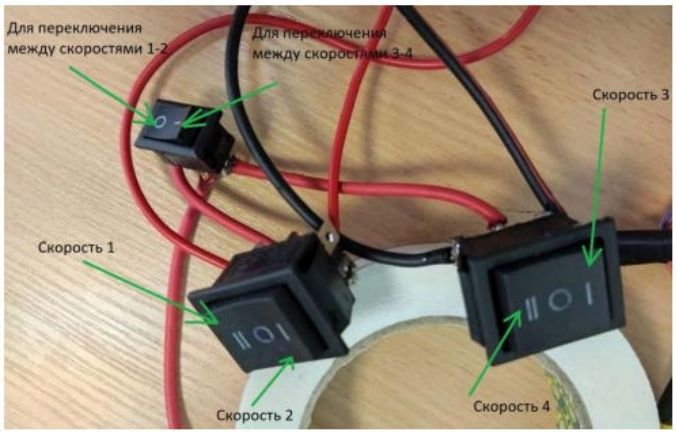


Рисунок 6 - Клавишное переключение тока

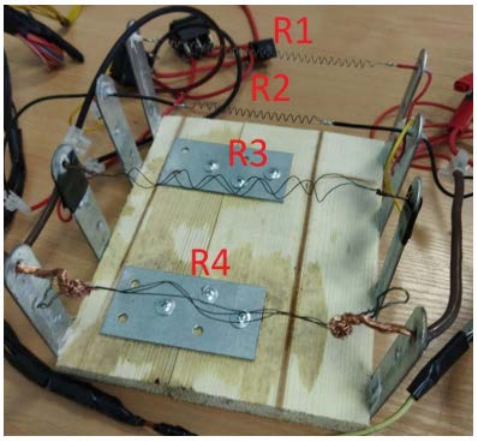


Рисунок 7 - Четыре тракта

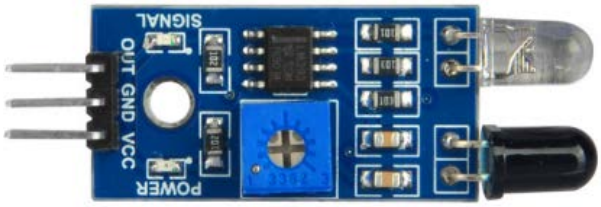


Рисунок 8 - Инфракрасный датчик препятствий HW-201



Рисунок 9 - Стенд для верификации работы вентиляторов

Плата датчика HW-201 установлена под вентилятором, к датчику подключен микроконтроллер Arduino Uno, данные с которого поступают на компьютер. Реализованная схема позволяет стабильно снимать обороты на всех четырех маршрутах токопередачи. Клавишные переключатели обеспечивают удобное переключение между трактами.

Для проведения испытаний был взят вентилятор с почти новым коллектором и новыми щетками, а также второй вентилятор с изношенным коллектором. Вначале стенд был испытан на новом вентиляторе с целью проверки работоспособности и корректности работы собранной схемы. Скорость вращения вентилятора измерялась на каждом маршруте в течение 30 минут. Результаты измерений представлены на рис. 10-13.

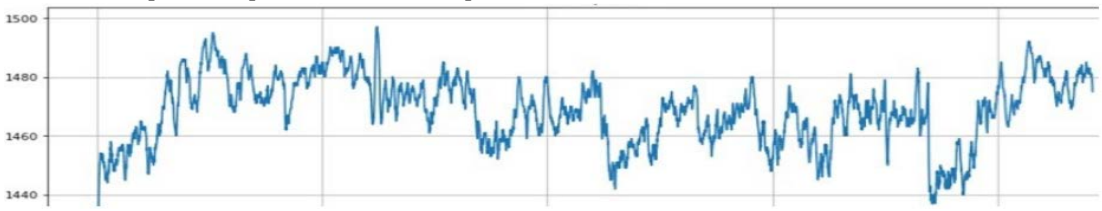


Рисунок 10 - Результаты измерения первой скорости

Как видно по приведенным графикам, снятые значения соответствуют приведенным выше номинальным показателям с точностью 4-6%, что является вполне приемлемым показателем. На втором вентиляторе с изношенным коллектором первая скорость составила в среднем 800 об/мин, вторая – 1600 об/мин, третья – 2250 об/мин, четвертая – 2700 об/мин. Составим таблицу с оценкой отличия оборотов второго вентилятора относительно первого.

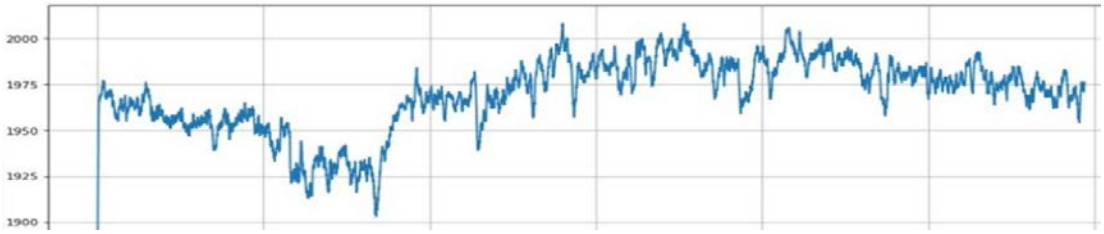


Рисунок 11 - Результаты измерения второй скорости

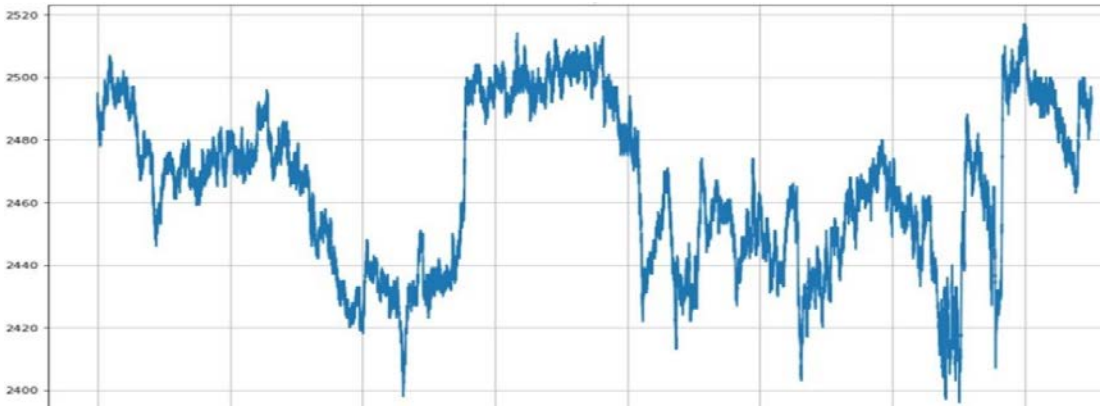


Рисунок 12 - Результаты измерения третьей скорости

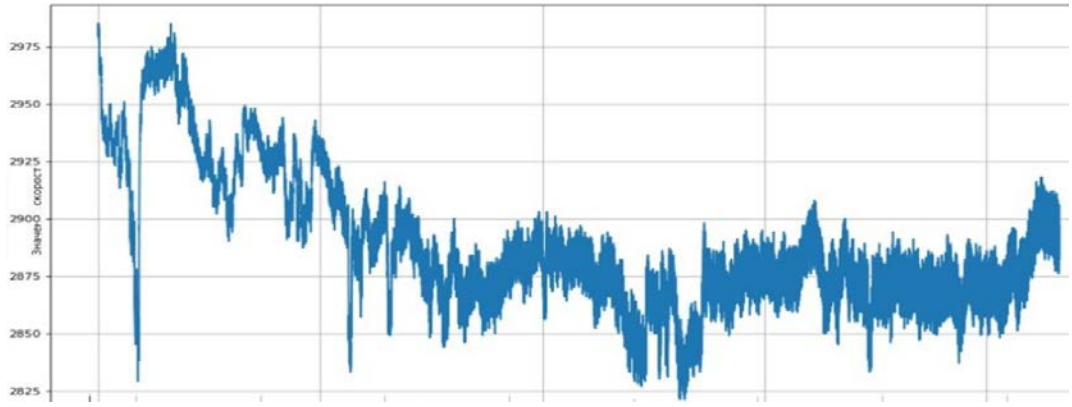


Рисунок 13 - Результаты измерения четвертой скорости

	Первый вентилятор	Второй вентилятор	Отличие второго от первого
Первая скорость	1500 об/мин	800 об/мин	**47%**
Вторая скорость	2000 об/мин	**1600** об/мин	**20%**
Третья скорость	2500 об/мин	2250 об/мин	**10%**
Четвертая скорость	3000 об/мин	2700 об/мин	**10%**

Спустя некоторое время четвертая скорость второго вентилятора снизилась до 2400 об/мин, то есть отличие от первого составило уже 20%. Вместе с тем наиболее заметно отличие по первой скорости с минимальным током, передача которого значительно ухудшается по мере износа коллектора.

Возможность измерения скоростей вращения, соответствующих всем положениям регулятора, и удобная визуализация получаемых результатов обеспечивают проведение полноценной комплексной диагностики как новых вентиляторов (с целью их проверки на соответствие паспортным данным), так и вентиляторов, достаточно долго бывших в употреблении. Такая диагностика помогает отбраковывать некондиционные устройства на этапах производства, приемки торговой точкой и проверки приобретенного изделия конечным покупателем. Кроме того, такого рода анализ позволяет более точно определить первопричину неисправности вентилятора, в том числе отказа плавающего типа, когда вентилятор то работает, то перестает работать. Причина такого отказа может заключаться не в самом вентиляторе, а, например, в электропроводке, по которой ток поступает на разъемы данного изделия, неудовлетворительном контакте штекера электропроводки с разъемом двигателя и других нюансах. Автономная проверка устройства может значительно облегчить локализацию источника неисправности изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерофеев С.А., Зыков П.В. Моделирование двигателей постоянного тока автомобильных систем отопления в среде MATLAB. Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2023, том 2, стр. 210-216.

ГЛАВА 7. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ, ИЗМЕРЕНИЙ И СЕРТИФИКАЦИИ

УДК 621.828

Ключников А.В.

Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е. И. Забабахина, Снежинск, Россия

a.klyucynikov@bk.ru.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОДНОПЛОСКОСТНОЙ БАЛАНСИРОВКИ ДЛИННОМЕРНОГО ТЕЛА В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Аннотация. В статье рассмотрена инженерная методика динамической балансировки длинномерного тела вращения в одной плоскости коррекции, конструктивно расположенной на значительном расстоянии от центра масс тела. Приведены выражения для оптимизации параметров остаточной неуравновешенности по критерию достижения одним из контролируемых параметров минимально возможного значения за один шаг балансировки.

Ключевые слова: тело вращения, центр масс, момент инерции, геометрическая ось, ось инерции, массо-инерционная асимметрия, динамическая балансировка

Klyuchnikov A.V.

Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific Research Institute of Technical Physics named after Academician E. I. Zababakhin, Snezhinsk, Russia

a.klyucynikov@bk.ru.

IMPROVING PROCEDURE OF A LONG-LENGTH SOLID'S MONOPLANAR BALANCING IN DYNAMIC MODE

Annotation. In the article an engineering procedure is considered on balancing of long-length rotating solid in the sole plane of correction, distant by design from the solid's mass-center. Expressions for optimization of the residual unbalance parameters by the criterion of obtaining a minimum possible MIA value at one balancing step by one of interested parameters, are given.

Keywords: rotation solid, mass-center, inertia moment, geometrical axis, axis of inertia, mass-inertia asymmetry, dynamic balancing

Введение

В общем случае динамически неуравновешенное длинномерное жесткое тело может рассматриваться как полностью уравновешенное тело, в двух плоскостях коррекции дисбалансов которого на известных радиусах присутствуют неуравновешенные точечные массы. При этом, как правило, центр масс смещен с геометрической оси тела, а его продольная ГЦОИ располагается под углом относительно той же оси. Как известно из литературы [1, 2] и других источников, для динамической балансировки длинномерного твёрдого тела и совмещения продольной главной центральной оси симметрии (ГЦОИ) с его геометрической осью, достаточно двух плоскостей коррекции, обычно располагаемых на торцах тела. Однако для случаев, когда контролируемое тело имеет, например, форму кругового конуса с малым полууглом раствора и единственной плоскостью коррекции, конструктивно расположенной вблизи торца конуса, на значительном расстоянии от центра масс модуля, в процессе уравновешивания приходится решать задачу не совмещения указанных осей, а, приведения параметров массо-инерционной асимметрии, к которым относятся угол перекоса продольной ГЦОИ относительно геометрической оси и величина смещения центра масс относительно той же оси, к значениям, не превышающим заданных для данного тела предельно-допустимых значений.

В работах [3, 4] приведено описание низкочастотного динамического балансировочного стенда с вертикальной осью вращения с жёсткими опорами, выполненными в виде соосных конических газостатических подшипников (ГСП). Стенд спроектирован и изготовлен для балансировки длинномерных тел вращения конической формы, обладающих единственной (штатной) плоскостью коррекции, расположенной вблизи торца тела. Балансировка тела проводится в составе сборного ротора с использованием специализированного технологического переходника, выполненного в виде усеченного конуса. Сборный ротор образуется в результате установки контролируемого тела вертикально (торцом вверх) внутри переходника, загруженного на ГСП. Переходник обеспечивает фиксацию тела, физическую защиту его наружной поверхности при вращении сборного модуля в опорах и материализацию второй (нижней) плоскости коррекции. При этом в качестве верхней (первой) плоскости коррекции используется штатная плоскость коррекции контролируемого тела [5, 6]. В качестве рабочего тела используется сжатый воздух, поступающий из заводской пневмосети низкого давления (0,6-0,8 МПа). Перед балансировкой, на других контрольно-измерительных стендах и с помощью других средств измерений определяют ряд массо-центровочных и инерционных характеристик (МЦИХ) тела – массу, продольное положение центра масс, моменты инерции – необходимых для проведения балансировочных расчетов.

Методика балансировки

Методика балансировки предполагает, что динамически неуравновешенное длинномерное жесткое тело представляет собой полностью уравновешенное тело, в двух плоскостях коррекции дисбалансов которого на известных радиусах присутствуют неуравновешенные точечные массы. В общем случае центр масс смещен с геометрической оси тела, а его продольная ГЦОИ располагается под углом относительно той же оси.

В соответствии с математической моделью и методикой балансировки на динамическом стенде длинномерного конического в составе сборного ротора, в ходе балансировочного эксперимента выполняют серию измерений вибраций опор – как для сборного ротора, находящегося в исходном состоянии, так и после установки пробных грузов в плоскостях коррекции [3, 7]. В каждом пуске с помощью двух пьезоэлектрических датчиков силы, установленных в упругих элементах соответственно верхней и нижней опоры, и оптоэлектрического датчика-отметчика фазы, выполняют измерения амплитуд и фаз вибраций опор (все измерения при этом выполняются на постоянной рабочей частоте вращения на выбеге ротора. По результатам измерений вибраций опор определяют балансировочные чувствительности измерительной системы стенда по амплитудам и углам дисбалансов и коэффициенты взаимовлияния плоскостей коррекции, рассчитывают векторные параметры (значения и углы) начальных дисбалансов контролируемого тела $\vec{B}_{НАЧ}$ и $\vec{H}_{НАЧ}$, действующих соответственно в верхней (далее обозначаемой индексом «в») и нижней (далее обозначаемой индексом «н») плоскости коррекции. При этом значения указанных дисбалансов определяются выражениями [1, 2, 7]:

$$B_{НАЧ} = m_B r_B;$$
$$H_{НАЧ} = m_H r_H,$$

где m_B и m_H – неуравновешенные массы, расположенные соответственно в верхней (на радиусе r_B) и нижней (на радиусе r_H) плоскостях коррекции. Далее рассчитывают параметры начальной массо-инерционной асимметрии модуля по формулам [1, 8]:

$$\vec{\rho}_{НАЧ} = \frac{\vec{B}_{НАЧ}+\vec{H}_{НАЧ}}{M};$$
$$\vec{\gamma}_{НАЧ} = \frac{1}{2} arcsin \frac{2(\vec{B}_{НАЧ} x_B \mp \vec{H}_{НАЧ} x_H)}{I_э - I_a},$$

где M – масса тела, $I_э$ и I_a – соответственно экваториальный и аксиальный моменты инерции модуля, x_B и x_H – расстояния от центра масс модуля до верхней и нижней плоскости коррекции в соответствии с рисунком 1; знак плюс ставится, если угол между векторами $\vec{B}_{НАЧ}$ и $\vec{H}_{НАЧ}$ острый, а знак минус – при тупом угле.

Затем в случае, если хотя бы один из параметров массо-инерционной асимметрии превышает предельно-допустимое значение, проводят балансировочный расчёт с определением массы и места установки балансировочного груза, прикрепление которого к штатной плоскости коррекции позволит если и не полностью совместить продольную ГЦОИ с геометрической осью балансируемого тела, то, по крайней мере, устранить (или минимизировать) один из двух контролируемых параметров массо-инерционной асимметрии при одновременном выполнении условия непревышения вторым параметром заданного предельно-допустимого значения.

В начале балансировочного расчета моделируют (расчетным путем) перевод тела в состояние квазистатической неуравновешенности, когда геометрическая ось и продольная ГЦОИ пересекаются, но не в центре масс. Для этого моделируют воздействие компенсирующего дисбаланса $\vec{B}_{\text{КОМП}}$ в штатной плоскости коррекции, равного по значению и противоположного по направлению начального дисбаланса $\vec{B}_{НАЧ}$, исключающего (компенсирующего) действие дисбаланса $\vec{B}_{НАЧ}$ в этой плоскости. Перевод модуля в состояние квазистатической неуравновешенности позволяет в дальнейших расчётах оперировать исключительно коллинеарными векторами дисбалансов, моделируемыми в плоскостях коррекции, что значительно упрощает проведение дальнейших расчётов.

Далее, в случае принятия решения об устранении поперечного смещения центра масс тела (что обычно является более предпочтительным), моделируют появление корректирующего дисбаланса $\vec{B}_{\text{КОРР}}$ в штатной плоскости коррекции, равного по значению и противоположно направленного к дисбалансу $\vec{H}_{НАЧ}$, что обеспечит перевод тела в режим моментной неуравновешенности, когда продольная ГЦОИ пересекается с его геометрической осью в центре масс, устранив, таким образом, смещение центра масс с геометрической оси. Если после проведенного расчета предполагаемый угол отклонения продольной ГЦОИ от геометрической оси тела, который может быть вычислен по формуле

$$\boldsymbol{\gamma_{КОРР}} = \frac{1}{2} \boldsymbol{arcsin} \frac{2(B_{КОРР} x_B + H_{НАЧ} x_H)}{I_э - I_a} = \frac{1}{2} \boldsymbol{arcsin} \frac{2 B_{КОРР} L}{I_э - I_a},$$

где $L = x_\text{В} + x_\text{Н}$ – расстояние между плоскостями коррекции, не будет превышать предельно-допустимого значения на данный параметр, то определяют параметры балансировочного вектора $\vec{B}_{\text{БАЛ}}$, являющегося суммой дисбалансов $\vec{B}_{\text{КОМП}}$ и $\vec{B}_{КОРР}$, и по законам статики рассчитывают массу и угол установки балансировочного груза. Однако если предполагаемый угол отклонения продольной ГЦОИ будет превышать предельно-допустимое значение, то балансировочный расчет может быть продолжен с целью приведения значений обоих параметров массо-инерционной асимметрии к значениям, отличающимся от нуля, но не превышающим предельно-допустимых значений при минимальном значении величины поперечного смещения центра масс.

В случае принятия решения об оптимизации результата балансировки по критерию достижения минимальной величины поперечного смещения центра масс, в соответствии с рисунком 2, взамен $\vec{\boldsymbol{B}}_{\text{КОРР}}$ моделируется корректирующий дисбаланс $\vec{B}_{\text{КОРР}|\gamma=\gamma_{\text{доп}}}$, направленный противоположно дисбалансу $\vec{H}_{\text{КОМП}}$, который обеспечит повторный перевод тела в состояние квазистатической неуравновешенности, но при этом предполагаемый остаточный угол перекоса продольной ГЦОИ будет уменьшен до значения, равного предельно-допустимому значению на данный параметр $\gamma^{ДОП}$, а значение вектора остаточного поперечного смещения центра масс станет минимальным для контролируемого тела и будет определяться выражением

$$\rho_{ОСТмин} = \frac{H_{НАЧ} - \frac{(I_Э - I_a)\cdot \sin 2\gamma^{ДОП}}{2} - H_{НАЧ}x_H}{x_B}.$$

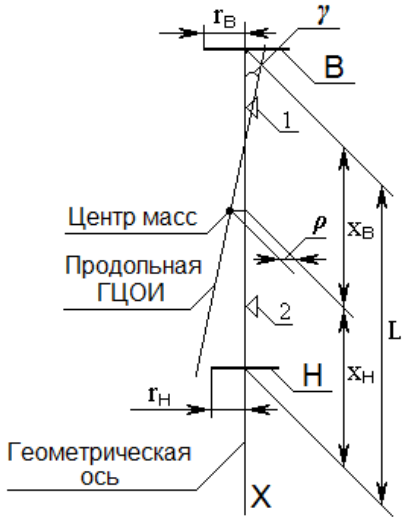


Рисунок 1 – Расчётная схема модуля:
1 – верхняя опора; 2 – нижняя опора;
В – верхняя плоскость коррекции радиусом r_B;
Н – нижняя плоскость коррекции радиусом r_H

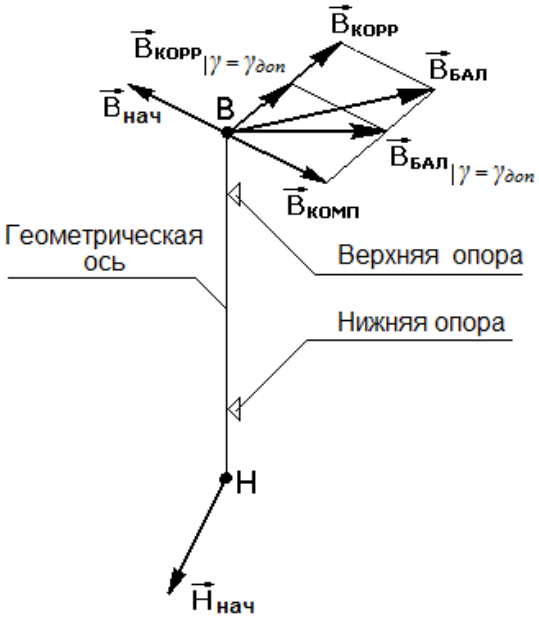


Рисунок 2 – Минимизация величины смещения центра масс

При этом направление вектора остаточного смещения центра масс будет противоположным вектору $\vec{B}_{БАЛ|\gamma=\gamma_{доп}}$.

Далее, если минимальное значение величины смещения центра масс не будет превышать заданного предельно-допустимого значения, то рассчитывают значение дисбаланса $\vec{B}_{КОРР|\gamma=\gamma_{доп}}$ по формуле

$$B_{КОРР|\gamma=\gamma^{доп}} = \frac{\frac{(I_Э - I_a)\cdot \sin 2\gamma^{ДОП}}{2} - H_{НАЧ}x_H}{x_B},$$

определяют параметры вектора балансировочного дисбаланса $\vec{B}_{БАЛ|\gamma=\gamma_{доп}}$, как суммы дисбалансов $\vec{B}_{КОМП}$ и $\vec{B}_{КОРР|\gamma=\gamma_{доп}}$, и рассчитывают массу и угол установки балансировочного груза. Если же удовлетворительное балансировочное решение окажется не найденным, то процедуру уравновешивания прекращают, а контролируемое тело отправляют изготовителю на доработку.

Однако существуют тела, для которых более предпочтительным является устранение (или минимизация) перекоса продольной ГЦОИ относительно его геометрической оси. В случае принятия решения об устранении угла перекоса продольной ГЦОИ, в соответствии с рисунком 3 моделируется корректирующий дисбаланс $\vec{B}_{КОРР}$, направление которого будет совпадать с направлением дисбаланса $\vec{H}_{КОМП}$, а значение – определяться выражением

$$B_{КОРР} = \frac{H_{НАЧ}x_H}{x_B}.$$

Это обеспечит перевод тела в режим статической неуравновешенности, когда $\gamma_{КОРР} = 0$, т.е. продольная ГЦОИ параллельна его геометрической оси. При этом убедиться в том, что угол перекоса ГЦОИ практически равен нулю, можно с использованием формулы

$$\gamma_{КОРР} = \frac{1}{2} arcsin \frac{2(B_{КОРР}x_B - H_{НАЧ}x_H)}{I_Э - I_a}.$$

Если после проведенного расчета значение предполагаемого смещения центра масс с геометрической оси тела, определяемое выражением

$$\rho_{КОРР} = \frac{H_{НАЧ} + B_{КОРР}}{M} = \frac{H_{НАЧ}L}{Mx_B},$$

не будет превышать предельно-допустимого значения на данный параметр $\rho^{доп}$, то определяют параметры балансировочного вектора $\vec{B}_{БАЛ}$, являющегося суммой дисбалансов $\vec{B}_{КОМП}$ и $\vec{B}_{КОРР}$, и по законам статики рассчитывают массу и угол установки балансировочного груза. Однако если предполагаемая величина смещения центра масс будет превышать предельно-допустимое значение, то балансировочный расчет может быть продолжен с целью приведения значений обоих параметров массо-инерционной асимметрии к значениям, отличающимся от нуля, но не превышающим предельно-допустимых значений, при минимальном значении угла перекоса продольной ГЦОИ.

В случае принятия решения об оптимизации результата балансировки по критерию достижения минимального угла перекоса продольной ГЦОИ, в соответствии с рисунком 3, вместо $\vec{B}_{КОРР}$ моделируется корректирующий дисбаланс $\vec{B}_{КОРР|\rho=\rho_{доп}}$, со-направленный дисбалансу $\vec{B}_{КОРР}$, значение которого определяется по формуле

$$B_{КОРР|\rho=\rho_{доп}} = \rho^{ДОП}M - H_{НАЧ}.$$

Появление дисбаланса $\vec{B}_{\text{КОРР}|\rho=\rho_{\text{доп}}}$ обеспечит повторный перевод тела в состояние квазистатической неуравновешенности, но уже с минимально возможным для данного тела предполагаемым остаточным углом перекоса, а предполагаемое значение поперечного смещения центра масс станет равным значению $\rho^{\text{доп}}$. При этом положительное значение вектора $\vec{B}_{\text{КОРР}|\rho=\rho_{\text{доп}}}$ будет означать, что его направление совпадает с направлением вектора $\vec{H}_{\text{НАЧ}}$, а отрицательное, – что его направление диаметрально противоположно направлению вектора $\vec{H}_{НАЧ}$.

Тогда предполагаемый остаточный угол перекоса продольной ГЦОИ может быть определен из выражения

$$\gamma_{ОСТмин} = \frac{1}{2} arcsin \frac{2\left(B_{КОРР|\rho=\rho_{ДОП}} x_B + H_{НАЧ} x_H\right)}{I_э - I_a}.$$

Далее, если значение $\gamma_{\text{ОСТмин}}$ не будет превышать заданного предельно-допустимого значения $\gamma^{\text{доп}}$, то определяют параметры вектора балансировочного дисбаланса $\vec{B}_{\text{БАЛ}|\gamma=\gamma_{\text{доп}}}$, как суммы дисбалансов $\vec{B}_{\text{КОМП}}$ и $\vec{B}_{КОРР|\rho=\rho_{доп}}$, и рассчитывают массу и угол установки балансировочного груза. Если же удовлетворительное балансировочное решение окажется не найденным, то процедуру уравновешивания прекращают, а контролируемое тело отправляют изготовителю на доработку.

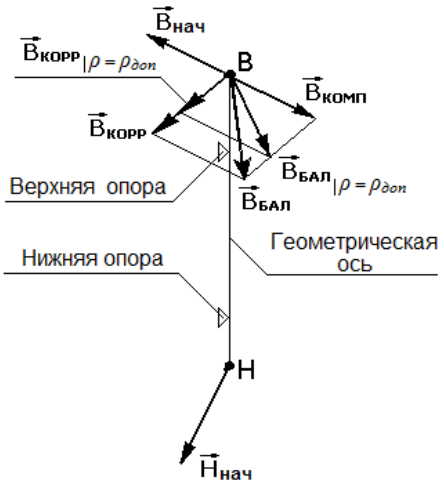


Рисунок 3 – Минимизация угла перекоса ГЦОИ

Заключение

Предложенная методика позволяет провести балансировку в динамическом режиме длинномерного тела вращения в единственной плоскости коррекции дисбалансов, конструктивно расположенной на значительном расстоянии от центра масс тела, за один шаг балансировки, либо доказать невозможность достижения удовлетворительного балансировочного решения для данного тела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы балансировочной техники. Т.1. Уравновешивание жестких роторов и механизмов / Под ред. В.А. Щепетильникова. – М.: Машиностроение, 1975. – 527 с.

2. Гернет М.М., Ратобыльский В.Ф. Определение моментов инерции – М.: Машиностроение, 1969. – 249 с.

3. Ильиных В.В., Ключников А.В., Лысых А.В., Михайлов Е.Ф., Тимощенко А.Г. Технология обеспечения качества при изготовлении высокоскоростных неуправляемых летающих моделей // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета. – 2013. – №3 (49). – С. 191–196.

4. Андреев С.В., Ключников А.В., Михайлов Е.Ф. Перспективы применения метода динамической балансировки для определения параметров асимметрии масс летательного аппарата // Материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. «Решетнёвские чтения» (г. Красноярск, 1–10 ноября 2014 г.): в 2 ч. – Красноярск: СибГАУ, 2014. – Ч. 1. – С. 8–10.

5. Пат. №2292533 МПК G01M 1/02, Россия. Балансировочный стенд с вертикальной осью вращения / Л.М. Глазырина, А.В. Ключников, Г.Г. Смирнов, А.И. Мальгин, М.С. Карповицкий, Ю.П. Фомин // Заявл. 27.04.2004, опубл. 27.01.2007; Бюл. №3.

6. Ключников А.В. Конструктивный облик стенда для прецизионного определения параметров массо-инерционной асимметрии длинномерных тел методом динамической балансировки // Надежность и качество сложных систем. – 2023. – №1. – С. 106–117.

7. Ключников А.В. Уточнённая математическая модель оценки и обеспечения параметров массо-инерционной асимметрии длинномерного роторного модуля // Труды Международного симпозиума Надежность и качество: в 2 томах. – 2012. – Т. 1. – С. 224–227.

8. Ключников А.В. Особенности процедуры уравновешивания длинномерного тела в единственной плоскости коррекции дисбалансов на вертикальном балансировочном стенде // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – №1. – С. 83–90.

УДК 621.78

Надеева[1] К.Р., Дусангалиев[2] Р.М., Ергалиев[3] Д.С.
[1,2,3] Академия гражданской авиации, Алма-Ата, Казахстан
[1] karina.balatemirova@agakaz.kz

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЁЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований, основанные на анализе существующих методов обслуживания и выявлении их недостатков. Предложенные подходы направлены на оптимизацию процесса технического обслуживания, улучшение качества проводимых работ и сокращение времени, затрачиваемого на обслуживание воздушных судов. Разработанные подходы основаны на применении современных методов диагностики, использовании передовых технологий и оптимизации рабочих процессов. Предложенные в статье методики и рекомендации могут быть полезны для авиационных организаций и предприятий, занимающихся техническим обслуживанием воздушных судов, с целью повышения их надёжности и эффективности эксплуатации.
Ключевые слова: техническое обслуживание, время, операция, производительность, функция

Nadeyeva[1] K.R., Dusangaliyev[2] R.M., Yergaliyev[3] D.S.
[1,2,3] Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan
[1] karina.balatemirova@agakaz.kz

DEVELOPMENT OF APPROACHES TO IMPROVING THE AIRCRAFT MAINTENANCE PROCESS TO INCREASE THEIR RELIABILITY AND EFFICIENCY

Annotation. This article presents the results of research based on the analysis of existing service methods and the identification of their shortcomings. The proposed approaches are aimed at optimizing the maintenance process, improving the quality of work performed and reducing the time spent on aircraft maintenance. The developed approaches are based on the application of modern diagnostic methods, the use of advanced technologies and optimization of work processes. The methods and recommendations proposed in the article can be useful for aviation organizations and enterprises engaged in aircraft maintenance in order to increase their reliability and operational efficiency.
Keywords: maintenance, time, operation, performance, function

Введение. В настоящее время воздушный транспорт играет важную роль в обеспечении глобальной мобильности и экономического развития. Эффективная и надежная эксплуатация воздушных судов является основой для обеспечения безопасности и комфорта пассажиров, а также для успешного выполнения грузовых перевозок. С ростом объемов воздушного транспорта и увеличением загруженности воздушных судов, встает вопрос об оптимизации процесса их технического обслуживания.

В данной статье фокус направлен на разработку подходов к совершенствованию процесса технического обслуживания воздушных судов с целью повышения их надежности и эффективности. В ней рассматриваются различные аспекты данной проблематики, начиная от анализа текущих методов и технологий обслуживания, заканчивая разработкой инновационных подходов и предложений.

Исследование проводится с целью проанализировать существующие проблемы и вызовы, с которыми сталкиваются авиационные компании и службы технического обслуживания воздушных судов. Рассматриваются факторы, влияющие на надежность и эффективность процесса обслуживания, такие как техническое состояние воздушных судов, использование ресурсов и временные ограничения. Предполагается предложить решения, способствующие сокращению времени простоя воздушных судов и экономии ресурсов.

Основная часть. Авиация включает в себя множество техногенных систем, в которых выполняются комплексные процессы.

Техническое обслуживание — процесс, который предназначен для обеспечения исправности и работоспособности авиационной техники [1].

Этот процесс имеет собственные ключевые аспекты, присущие всем процессам в техногенных системах:

1. Человеческий капитал. Человеческий капитал - это концепция, которая отражает важность знаний, навыков, опыта и способностей людей в экономике и обществе в целом. Он представляет собой накопленные ресурсы в виде образования, профессионального опыта, здоровья и умений, которые у человека есть.

Основной идеей человеческого капитала является то, что инвестиции в развитие и обучение человеческих ресурсов приносят высокие дивиденды в будущем. Это включает в себя инвестирование в образование, тренинги, медицинское обслуживание и другие программы, направленные на повышение квалификации и здоровья людей.

В современном мире человеческий капитал становится ключевым фактором в экономическом развитии. Он способствует инновациям, повышает производительность труда, улучшает качество жизни и содействует устойчивому росту экономики.

Основные компоненты человеческого капитала включают: образование (получение знаний и навыков через формальное обучение в учебных заведениях), опыт работы

(накопление знаний и навыков на рабочем месте в течение времени), здоровье (физическое и психологическое благополучие, которое позволяет человеку быть активным и продуктивным), навыки и умения (способности и таланты, которые могут быть развиты и использованы для достижения целей);

2. Техническое оборудование. Техническое оборудование представляет собой совокупность инструментов, машин, устройств и систем, предназначенных для выполнения различных задач в производстве, научных исследованиях, строительстве, обслуживании, медицине и других сферах деятельности [2]. Оно играет ключевую роль в повышении производительности труда, улучшении качества продукции и услуг, а также в совершенствовании технологических процессов. Техническое оборудование может быть разнообразным по своему предназначению и конструктивным исполнениям;

3. Финансы. Финансы – это область экономики, изучающая движение денежных средств и других финансовых ресурсов, их управление, а также методы и инструменты финансовой деятельности. Финансы являются важным компонентом любой экономической системы и играют ключевую роль в ее функционировании;

4. Операционное время. Операционное время, также известное как время работы или время функционирования, относится к периоду времени, в течение которого система, устройство или процесс находятся в рабочем состоянии и выполняют свои функции. Этот термин широко используется в различных областях, включая производство, информационные технологии, транспорт, медицину и другие.

Количество человек является регламентированным и связано с количеством однотипных или разнотипных операций, которые должны выполняться единовременно или последовательно [3]. При этом необходимо отметить, что максимальное количество людей, задействованных единовременно, будет пропорционально соответствовать количеству однотипных операций выполняемых единовременно. Без учета всех тонкостей, опираясь на изложенное запишем утверждение в общем виде:

$$F_{human} = f(hum, act, types) \quad (1)$$

где F_{human} - комплексная функция, характеризующая человеческий капитал;

f - математическая зависимость функции;

hum - суммарное количество привлекаемых людей;

act - суммарное количество операций;

$types$ - количество типов операций.

Техническое оборудование имеет показатель производительности по количеству производимых операций, который зависит от поколения оборудования и его технических характеристик [4]. Комплексно запишем так:

$$F_{aids} = f(tec, gen, ope) \quad (2)$$

F_{aids} - комплексная функция, характеризующая техническое оборудование

f - математическая зависимость функции

tec - технические характеристики

gen - поколение оборудования

ope - суммарное количество выполняемых операций

Финансовыми показателями являются доходы, расходы и прибыль:

$$P = D - R \quad (3)$$

P - суммарная прибыль

D - суммарный доход

R - суммарный расход

Финансовые показатели являются комплексными и включают в себя доходы и расходы на наем персонала и эксплуатацию оборудования.

Время является практически не объемлемым показателем по причини невозможности контроля, однако к нему привязаны величины финансового потока, а потому время как комплексный показатель представляет собой сумму интервалов, соответствующих операционной деятельности

$$F_{time} = \Sigma_1^i(T) \quad (4)$$

F_{time} - комплексная функция, характеризующая временные затраты

T - усредненное время, затрачиваемое на выполнение одной операции

Так как в реалиях современного бизнеса простой воздушного судна подразумевает упущенные возможности и даже расходы, то стоит произвести оценку финансовых показателей с учетом приведенных аспектов [5]. В рамках современного общества внедрение новейших технологий сокращает временные затраты, сокращает или эквивалентно заменяет количество персонала и увеличивает прибыль, при этом сравнение идет относительно предшествующих действующих техногенных систем. Запишем утверждение математически:

$$F_{complex} = \begin{bmatrix} if human \downarrow R \uparrow \\ if ope \downarrow R \uparrow \\ if T \downarrow R \uparrow \end{bmatrix} \quad (5)$$

Совершенствование процесса технического обслуживания воздушных судов направлено на повышение их надежности, безопасности полетов и операционной эффективности. Для реализации поставленной задачи можно предложить следующие подходы:

- Применение современных технологий и оборудования. Внедрение передовых технологий и современного оборудования, таких как автоматизированные системы диагностики, программные комплексы для мониторинга состояния воздушных судов, помогает улучшить качество и скорость выполнения технического обслуживания;
- Оптимизация процессов и процедур обслуживания. Разработка и внедрение оптимальных процессов технического обслуживания, включая оптимизацию расписаний ТО, рациональное использование ресурсов, упрощение процедур проведения работ, помогает повысить эффективность обслуживания и сократить время простоя воздушных судов;
- Обучение и повышение квалификации персонала [6]. Проведение систематического обучения и тренингов сотрудников по выполнению технического обслуживания с использованием новейших методик и технологий позволяет повысить квалификацию и профессиональный уровень персонала, что в свою очередь способствует повышению надежности и эффективности обслуживания;
- Регулярное техническое обслуживание и предупредительные меры. Своевременное проведение регулярного технического обслуживания и предупредительных мер, таких как диагностика состояния систем и компонентов воздушных судов, замена изношенных деталей и узлов, помогает предотвратить возможные поломки и аварии во время эксплуатации;
- Использование данных и аналитика. Сбор, анализ и использование данных о состоянии воздушных судов, а также о процессах технического обслуживания, позволяет выявлять проблемные зоны, определять причины отказов и разрабатывать эффективные стратегии предупреждения и устранения неисправностей;
- Стандартизация и соблюдение нормативов. Соблюдение стандартов, норм и правил технического обслуживания воздушных судов, а также систематический контроль и проверка их соблюдения, помогают обеспечить высокий уровень безопасности и надежности полетов.

Лишь комплексное применение этих подходов позволяет создать эффективную систему технического обслуживания воздушных судов, способствующую повышению их надежности, безопасности и операционной эффективности.

Заключение. Важность разработки и применения современных подходов к совершенствованию процесса технического обслуживания воздушных судов с целью повышения их надежности и эффективности нельзя преувеличить.

Внедрение систематического мониторинга состояния воздушных судов, использование аналитики и данных, а также соблюдение стандартов и нормативов позволяют эффективно выявлять и предотвращать возможные неисправности, а также повышать производительность и операционную готовность воздушного парка.

Осуществление комплексных мер по совершенствованию процесса технического обслуживания воздушных судов сегодня является необходимым условием для обеспечения безопасности полетов, оптимизации затрат и повышения общей эффективности авиационных операций. В этом контексте дальнейшее развитие и внедрение новых технологий и методов в области технического обслуживания является важным направлением для индустрии гражданской авиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Далецкий С.В., Деркач О.Я., Петров А.Н. «Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации» // Москва, 2002 – 19-23 с.;
2. Kroes M,, Watkins W., Delp F. «Aircraft Maintenance and Repair», 2017 – 35-39 p.;
3. Степанова Н.И. «Экономика гражданской авиации» // Учебное пособие – Москва: «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА), 2014 – 80-82 с.;
4. Немчинов О.А., Хайтбаев В.А. «Экономика авиатранспортной отрасли» // Самара, 2018 – 25-27 с.;
5. https://habr.com;
6. https://www.icao.int.
7. Ергалиев Д.С. Аналитические основы контроля и диагностирования систем воздушных судов гражданской авиации. Надежность и качество-2007: международный симпозиум.- Пенза, – 2007.-С.23-24.
8. Ергалиев Д.С., Коптев А.Н. Алгоритмы представления задач организации гибких систем технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Надежность и качество-2008: Международный симпозиум. Пенза, – 2008. том 1- С.441-442.

УДК 658.512

Невокшанов[1] В.Б., Плотников[2] Д.В., Бычкова[3] К.С., Камышов[4] Г.А., Рязяпов[5] И.Н., Рыбаков[6] И.М.

[1,2,3,4,5,6] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

ОЦЕНКА РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Аннотация. Контроль состояния батареи крайне важен практически во всех системах, где необходимо знать уровень ее заряда. При неправильном использовании батареи могут выйти из строя, перестать обеспечивать требуемую емкость, а время автономной работы оборудования может быть сведено к нулю. Основная проблема, возникающая при зарядке батарей, заключается в поиске параметров измерения, позволяющих определить состояние полного заряда с достаточной точностью.

Комбинированный блок контроля системы оперативного тока предназначен для измерения основных электрических и технических параметров компонентов системы оперативного тока, расчета вторичных параметров, характеризующих состояние СОП, и заблаговременного оповещения об аварийном режиме работы.

Блок контроля батареи позволяет измерять несимметричные напряжения батареи, измерять температуру в батарейном отсеке, а также измерять значения и направление тока.

Важным компонентом системы оперативного тока является система мониторинга, которая обеспечивает непрерывный контроль, своевременное обнаружение неисправностей, предупредительную и аварийную сигнализацию и передачу данных в систему автоматического управления более высокого уровня. Оборудование для мониторинга обычно включает в себя различные аналого-цифровые преобразователи, модули ввода, измерительные приборы, реле контроля уровня напряжения и перенапряжения, преобразователи интерфейса и системы контроля изоляции.

Ключевые слова: контроль, надежность, мониторинг аккумуляторных батарей, система, автоматическая коррекция

Nevokshanov[1] V.B., Plotnikov[2] D.V., Bychkova[3] K.S., Kamyshov[4] G.A., Ryazyapov[5] I.N., Rybakov[6]I.M.

[1,2,3,4,5,6] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

EVALUATION OF THE IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES OF AUTOMATIC CORRECTION OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF BATTERIES

Annotation. Monitoring the battery status is extremely important in almost all systems where it is necessary to know its charge level. If used incorrectly, the batteries may fail, cease to provide the required capacity, and the battery life of the equipment may be reduced to zero. The main problem that arises when charging batteries is to find measurement parameters that allow you to determine the state of full charge with sufficient accuracy. The combined control unit of the operational current system is designed to measure the main electrical and technical parameters of the components of the operational current system, calculate secondary parameters characterizing the state of the SOP, and provide early warning of emergency operation.

The battery monitoring unit allows you to measure unbalanced battery voltages, measure the temperature in the battery compartment, as well as measure the values and direction of current. An important component of the operational current system is a monitoring system that provides continuous monitoring, timely fault detection, warning and alarm alarms and data transmission to a higher-level automatic control system. Monitoring equipment usually includes various analog-to-digital converters, input modules, measuring instruments, voltage and overvoltage level monitoring relays, interface converters and insulation monitoring systems.

Keywords: control, reliability, battery monitoring, system, automatic correction

Введение

Совокупность источников питания, кабельных линий, сборных шин распределительных устройств и других элементов оперативной цепи образует систему оперативного тока электроустановки. Рабочий ток подстанции используется для питания вторичного оборудования. К вторичному оборудованию относятся оперативные цепи защиты, автоматики и дистанционного управления.

Подстанции включают в себя цепи защиты, автоматики, дистанционного управления машинами, аппаратуру дистанционного управления, аварийные сигналы и сигналы тревоги.

При нарушении нормальной работы подстанции рабочий ток также используется для питания аварийного освещения и электродвигателей (особенно важных механизмов).

Цель исследования - создание микропроцессорного блока для контроля состояния аккумуляторных батарей в системах оперативного постоянного тока.

Целью исследования является программное обеспечение блока контроля аккумуляторных батарей в составе комплекса мониторинга системы оперативного постоянного тока.

Целью магистерской диссертации является разработка программного обеспечения для блока контроля аккумуляторных батарей, входящего в состав комплекса мониторинга системы оперативного постоянного тока.

Задачи Для достижения целей исследования были определены и решены следующие задачи:

1) Рассмотрение назначения и функционирования системы оперативного постоянного тока, комплекса мониторинга системы оперативного постоянного тока, основных характеристик и обслуживания аккумуляторной батареи;

2) разработка программного обеспечения блока мониторинга АКБ, микроконтроллер STM32F405RGT6, платформа Eclipse, написание программного кода, реализация возможности программирования блока через USB, передача измеренных значений через CAN интерфейс;

3) получение и отображение параметров на панели оператора;

Методы исследования Возможности программирования микроконтроллера STM32 на базе ядра ARM Cortex-M4 были экспериментально изучены с помощью отладочной платы STM32F4DISCOVERY.

Программирование микроконтроллера осуществлялось на языке C в среде разработки Eclipse Cpp Oxygen с использованием OpenOCD и ST-LINK/V2 - программно-аппаратного средства отладки разработанного приложения.

Описание комплекса мониторинга системы оперативного тока и блока контроля аккумуляторной батареи

Совокупность источников питания, сборных шин распределительных устройств, кабельных линий и других элементов оперативной цепи образует систему оперативного тока электроустановки. На подстанциях оперативный ток необходим для питания вторичных устройств, таких как аппаратура дистанционного управления, защиты, автоматики, цепей дистанционного управления машинами, предупредительных и аварийных сигналов. При нестабильной работе подстанции оперативный ток используется также для питания аварийного освещения и электродвигателей (особенно ответственных механизмов).

При проектировании установок оперативного тока основное внимание уделяется выбору рода тока, выбору типа источника питания, режима работы, расчету нагрузок и составлению электрической схемы сети оперативного тока. Системы оперативного тока, применяемые на подстанциях

1) оперативные токи постоянного тока - системы питания оперативных цепей, использующие в качестве источника питания аккумуляторные батареи;

2) переменный оперативный ток - система питания оперативных цепей, в которой в качестве основного источника питания используются дозирующие трансформаторы тока, дозирующие трансформаторы напряжения и вспомогательные трансформаторы защитного присоединения. В качестве дополнительного источника питания для импульсных режимов используются предварительно заряженные конденсаторы;

3) выпрямленного оперативного тока - система питания оперативной цепи переменным током, в которой переменный ток преобразуется (выпрямляется) в постоянный с помощью блока питания и блока выпрямленного питания.

Блок питания. В качестве дополнительного источника импульсного питания могут использоваться предварительно заряженные конденсаторы;

4) Смешанные системы оперативного тока - системы питания оперативных цепей, в которых используются различные системы оперативного тока (постоянный и выпрямленный, переменный и выпрямленный).

В случае переменного оперативного тока наиболее простым способом подачи питания на электромагнит отключения автоматического выключателя является его непосредственное подключение ко вторичной цепи трансформатора тока (способ с использованием реле прямого действия или шунтирования электромагнита отключения при срабатывании защиты). В этом случае предельные значения тока и напряжения в токовой цепи защиты не должны превышать допустимых значений, а электромагниты токового расцепителя (реле типов РТМ, РТБ или ТЭО) должны обеспечивать необходимую чувствительность защиты в соответствии с требованиями ПУЭ. Если эти реле не обеспечивают требуемую чувствительность защиты, то цепь отключения питается от предварительно заряженного конденсатора.

На подстанциях переменного оперативного тока питание цепей автоматики, управления и сигнализации осуществляется от вспомогательных шин через стабилизатор напряжения.

Рабочий переменный ток подается от вспомогательных трансформаторов, измерительных трансформаторов тока и трансформаторов напряжения, питающих вторичное оборудование.

Он подается на вторичное оборудование либо непосредственно, либо через межсоединения (блоки питания и конденсаторные блоки). Поскольку переменные рабочие токи распределяются централизованно, их использование не требует сложной и дорогостоящей распределительной сети. Однако, поскольку питание вторичного оборудования зависит от напряжения сети, сфера применения переменного тока ограничивается дефицитом мощности в самом источнике питания (измерительные трансформаторы тока и трансформаторы напряжения).

Трансформаторы тока служат надежным источником для обеспечения защиты от короткого замыкания. Трансформаторы напряжения и вспомогательные трансформаторы служат источником защиты от повреждений и аномальных режимов без глубоких перепадов напряжения, когда не требуется высокая стабильность напряжения и допустимы перерывы в подаче электроэнергии.

Батарея является независимым источником рабочего тока. К преимуществам источников питания постоянного тока относятся простота и надежность схемы релейной защиты, а также возможность надежно подавать требуемые напряжения и токи во все цепи подключенного оборудования в любое время, независимо от состояния сети.

Для повышения надежности сеть оперативного питания сегментируется таким образом, чтобы обесточивание одного или нескольких сегментов не приводило к выходу из строя наиболее важных устройств, потребляющих оперативный ток, таких как релейная защита, устройства автоматики и управления (рис. 1).

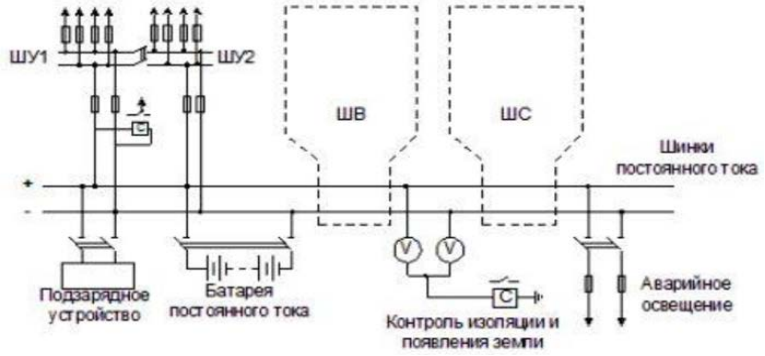


Рисунок 1 - Схема подключения источника постоянного оперативного тока (аккумуляторной батареи) в распределительном устройстве

Батарея работает на шинах постоянного тока, а линия разделена для питания секции рабочего тока каждой группы потребителей. От шин питаются устройства релейной защиты, автоматики и управления (обычно отдельная шина для каждой секции шин), от шин питаются шины сигнализации, от шин питаются соленоиды переключения выключателей. Батареи также обеспечивают аварийное освещение подстанций.

Батареи, как правило, являются долговечными, эффективными свинцово-кислотными батареями и могут выдерживать кратковременные перегрузки, например, при питании мощных соленоидов выключателей (соленоиды потребляют до нескольких сотен ампер энергии).

Помещения для батарей должны отапливаться и вентилироваться для удаления паров серной кислоты. Чтобы максимально продлить срок службы батареи, зарядка и разрядка должны производиться в оптимальных условиях. Для этого используется автоматически регулируемая система выпрямления (зарядное устройство).

Сеть постоянного тока защищена предохранителями и автоматическими выключателями, которые гарантируют селективность и точность. Наиболее распространенной неисправностью является замыкание на землю на одном из полюсов.

Это не вызывает повреждений, но второе замыкание может привести к выходу из строя защитного устройства или коммутационного соленоида. Поэтому следует провести проверку изоляции, например, подключив два вольтметра. Если неисправностей нет, напряжения на шинах и на земле одинаковы.

Все устройства, потребляющие энергию батареи, можно разделить на три группы:

Блокировки, сигналы, релейная защита, оборудование с постоянным питанием и постоянно питающаяся часть аварийного освещения. Постоянная нагрузка на батарею зависит от мощности постоянно включенной сигнализации и аварийного освещения, а также от типа реле. Поскольку постоянная нагрузка невелика и не влияет на выбор батареи, расчеты показывают, что крупные подстанции 110¬500 кВ могут временно принять значение постоянной коммутационной нагрузки в 25 А. Переходная нагрузка - возникает при отключении переменного тока в аварийном режиме и представляет собой ток нагрузки аварийного освещения и двигателей постоянного тока. Длительность этой нагрузки определяется продолжительностью аварийной ситуации (ориентировочная продолжительность - 0,5 часа). Кратковременные нагрузки (до 5 секунд) обусловлены кратковременными токами включения/отключения в инверторах и автоматических выключателях, пусковыми токами двигателей, токами нагрузки в устройствах управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дерябин, Д. В. Технология обработки меди и медных сплавов электромагнитными импульсами / Д. В. Дерябин, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2023. – № 2(42). – С. 51-61. – DOI 10.21685/2307-4205-2023-2-6. – EDN UCZRLA.

2. Оптимизация алгоритма имитации доплеровского рассеяния отраженного радиосигнала / В. К. Слизкой, А. С. Боков, Д. Ж. Нагашибаев, А. А. Иофин // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 3(39). – С. 24-32. – DOI 10.21685/2307-4205-2022-3-3. – EDN VQDVUR.

3. Березнев, В. А. Алгоритм управления роботом в условиях приближенного позиционирования / В. А. Березнев, И. В. Прокопьев // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2023. – Т. 1. – С. 49-51. – EDN GFBEPY.

4. Китаев, В. Н. Определение параметров магнитной системы инерционного включателя / В. Н. Китаев, О. А. Спрогис // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2022. – Т. 2. – С. 117-121. – EDN HBOMXB.

УДК 621.3.014.4

Семкина К.А.
Научно-исследовательский институт физических измерений, Пенза, Россия
kipra@pnzgu.ru

ВИХРЕТОКОВЫЕ ДАТЧИКИ. УСТРОЙСТВО, ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ, АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ВИДОВ ДАТЧИКОВ

Аннотация. В данной работе рассмотрено устройство вихретоковых датчиков, принцип их работы, их преимущества и недостатки. Проведен аналитический обзор современных видов вихретоковых датчиков и описана сфера области применения.

Ключевые слова: датчик, вихретоковый, контроль, объект, вихретоковые датчики, вид, катушка индуктивности, сигнал, пробник, электромагнитный, объекты контроля, индуктивность

Semkina K.A.
Research Institute of Physical Measurements, Penza, Russia
kipra@pnzgu.ru

EDDY CURRENT SENSOR. DEVICE, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES, ANALYTICAL REVIEW OF MODERN TYPES OF SENSORS

Annotation. In this paper, the device of eddy current sensors, the principle of their operation, their advantages and disadvantages are considered. An analytical review of modern types of eddy current sensors is carried out and the scope of application is described.

Keywords: sensor, eddy current, control, object, eddy current sensors, type, inductor, signal, probe, electromagnetic, control objects, inductance

Введение

Современный уровень развития промышленной индустрии подразумевает высокие требования к качеству выпускаемой продукции.

Одним из способов повышения качества продукции является применение объективных физических методов неразрушающего контроля [1]. К ним относится метод бесконтактного вихретокового контроля, который реализуется с помощью вихретоковых датчиков перемещения. Принцип работы данного типа датчиков основывается на электромагнитной теории. Вихревые токи или токи Фуко возникают в изделиях, которые обладают электропроводимостью и находятся под воздействием переменного магнитного поля [6].

У вихретоковых датчиков перемещения обширная область применения, объектами для их измерения могут быть любые электропроводящие изделия.

Существует несколько типов датчиков, конкретизация выбора определенного будет зависеть от задач неразрушающего контроля и особенностей аппаратуры [4].

Учитывая постоянное развитие промышленности, возрастают требования к конструкционным особенностям и функционалу самих датчиков, которые успешно решаются [3], [4].

Актуальность данной темы требует более подробного ее раскрытия.

В данной работе будет проведен анализ использования вихретоковых датчиков и принцип их работы

Устройство вихретокового датчика

Вихретоковый датчик или вихретоковая система, состоит из вихретокового пробника, удлинительного кабеля и драйвера.

Катушка индуктивности, элемент, на котором базируется работа датчика, заключена в диэлектрическом наконечнике металлического зонда. Для локализации электромагнитного поля в зоне магнитопровода и увеличения абсолютной чувствительности, обеспечения тем самым точечного воздействия преобразователя на объект контроля, катушки мотают на магнитопроводах (на ферритовых стержнях) [4].

Диаметр катушки будет влиять на величину измеряемого зазора. Глубина проникновения вихревых токов в объект контроля будет зависеть от частоты возбуждающего поля и от радиуса возбуждающей катушки [5].

Вихретоковый пробник представляет собой зонд с отрезком коаксикального кабеля на одном конце и диэлектрическим наконечником на другом. Пробник соединяется с драйвером с помощью коаксикального удлинительного кабеля или напрямую.

Драйвер выглядит как герметичная металлическая коробка с коаксикальным соединителем для подключения кабеля, клеммы питания, заземления, общего провода. Основные функции драйвера — вырабатывать сигнал возбуждения пробника и осуществлять выделение информативного параметра.

Электрический сигнал, прямо пропорциональный расстоянию от торца вихревого пробника до контролируемого объекта будет являться выходным сигналом драйвера [3].

Принцип работы. В следствие электромагнитной индукции в электропроводящей среде при изменении магнитного поля будут возникать вихревые токи индукционной природы [6].

Принцип работы вихретокового датчика основан на анализе взаимодействия двух электромагнитных полей — внешнего источника (обмотка возбуждения датчика) и тех, которые возбуждаются в объекте контроля переменным магнитным полем датчика [1].

Драйвер вырабатывает сигнал возбуждения пробника. При подведении торца диэлектрического наконечника вихретокового пробника к объекту контроля, при условии обладания им электропроводимости, на его поверхности продуцируются вихревые токи. Электромагнитное

поле вихревых токов взаимодействует с электромагнитным полем индуктивной катушки пробника, изменяя ее активное и индуктивное сопротивление [5].

С помощью драйвера происходит преобразование изменения зазора между контролируемым объектом и торцом датчика в электрический сигнал [3]. Драйвер осуществляет линеаризацию и масштабирование полученного электрического сигнала.

Тип системы наблюдения будет определять в каком виде будет представлен выходной сигнал. Он может быть в виде тока, напряжения или представлен в виде цифрового формата.

Виды вихретоковых датчиков

Конфигурации вихретоковых датчиков могут отличаться между собой: диаметром катушки пробника, длиной кабеля, параметрами выходного сигнала и характером измеряемой величины. Радиус катушки индуктивности будет влиять на глубину проникновения вихревых токов в проводящие изделия [5].

Чем меньше радиус катушки индуктивности, тем больше чувствительность датчика к микродефектам. Самыми распространенными датчиками в авиации являются датчики с диаметром катушки индуктивности 1 и 0,5 мм, обеспечивающие сканирование деталей с шагом 1 и 0,5 мм соответственно [4]. Определенному диаметру катушки должна соответствовать определенная длина системного кабеля, для каждой комбинации катушки и кабеля должен калиброваться определенный драйвер [3].

Виды вихретоковых датчиков: параметрические, трансформаторные, абсолютные, дифференциальные, проходные, наружные, внутренние, экранные, погружные, щелевые, накладные, экранные накладные, комбинированные.

Принадлежность к трансформаторным или параметрическим датчикам будет зависеть от особенностей преобразования параметров исследуемого объекта в выходные сигналы. У трансформаторных датчиков одна возбуждающая обмотка. Их значительный минус будет заключаться в том, что их выходной сигнал будет зависеть от температуры исследуемого объекта и внешней среды. Параметрические имеют возбуждающую и измерительную обмотки. Их выходной сигнал не будет так зависеть от температурных воздействий, как у предыдущих датчиков.

На принадлежность к абсолютным или дифференциальным вихретоковым датчикам будет влиять способ соединений катушек индуктивности.

У абсолютных датчиков абсолютные значения параметров объектов контроля определяют выходной сигнал. Дифференциальные датчики представляют собой сочетание двух абсолютных датчиков. При этом, обмотки возбуждения у них соединены последовательно согласно, измерительные - встречно. Выходной сигнал этого вида датчиков будет зависеть от разности значений параметров объекта в интересующей зоне.

В зависимости от того, каким образом датчик расположен в пространстве относительно объекта исследования, выделяют следующие типы датчиков:

1. Проходные. В свою очередь, они могут наружными, внутренними, погружными, экранными, щелевыми. У этого вида датчика катушка может охватывать объект из-за особой конструктивной специфики магнитопровода [6];

2. Накладные. Обмотки у этого вида датчиков бывают различные: прямоугольные, круглые, прямоугольные крестообразные. Обмотки могут иметь взаимно-перпендикулярные оси. Накладные датчики превосходят проходные по уровню контроля геометрических и электромагнитных параметров объектов, которые имеют сложную форму;

3. Комбинированные. Совмещают свойства проходных и накладных датчиков. Имеют проходные возбуждающие и накладные измерительные катушки. Из-за этого возможно применение датчика для расширенного ряда объектов, однако есть вероятность неверных результатов контроля, ввиду смещения осей катушки. Наружные проходные датчики применяются в случае необходимости контроля линейно - протяженных объектов мелких изделий.

Катушки индуктивности внутренних проходных видов датчиков вводят внутрь объекта контроля. Катушки индуктивности погружных видов проходных датчиков, помещают в контролируемую среду (жидкую электропроводящую).

Экранные виды проходных датчиков отличаются тем, что возбуждающие и измерительные катушки индуктивности располагают по разные стороны объекта контроля.

Щелевые виды проходных датчиков, сконструированы с магнитопроводом, который будет охватывать объект контроля. Используют для контроля проволоки.

Особенность накладных видов датчиков заключается в том, что их размещают непосредственно вблизи поверхности объекта контроля, что позволяет им контролировать электромагнитные параметры объектов сложных форм. Катушки индуктивности у этого вида датчика могут быть разными: круглыми коаксикальными, прямоугольными, с взаимно-перпендикулярными осями. В экранных накладных видах возбуждающие и измерительные катушки индуктивности располагают по разные стороны объекта контроля.

Встречаются линейные специальные типы датчиков, выполненные в виде рамок или линейно-протяжных витков. Широкие возможности бесконтактного вихревого контроля не могут полностью характеризоваться указанной классификацией, ввиду постоянного создания современных датчиков с более совершенным и расширенным функционалом для удовлетворения потребностей различных сфер промышленности. [3], [4].

Недостатки и преимущества вихретоковых датчиков. Несмотря на незначительность, влияния факторов окружающей среды на результат измерений нельзя полностью игнорировать. Например, воздействие экстремальной температуры окружающей среды на датчик может приводить к дополнительной погрешности измерения. Для компенсации воздействия температуры окружающей среды был разработан специальный импульсный метод возбуждения вихретокового пробника [3].

Ввиду того, что датчики маленького размера являются более чувствительными к дефектам, но обладают небольшими шагом сканирования и скоростью исследования, были изобретены

многоканальные вихретоковые сканеры. Эти сканеры компактны, но способны охватывать большую подконтрольную плоскость [4].

Новые конструктивные решения помогают совершенствовать функционал датчиков, учитывая возникающие требования различных сфер промышленности.

Созданию датчиков с более совершенной конструкцией и расширенным функционалом будут так же способствовать быстрое развитие цифровых технологий и микроэлектроники. Новый функционал может включать: правильную интерпретацию результатов контроля, обнаружение дефектов разных типов, применение сетевых ресурсов для обработки, хранения и использования информации об объектах контроля.

Преимущества вихретокового беконтактного неразрушающего контроля заключаются в следующем:

1. Бесконтактность. Отсутствует необходимость подготавливать контролируемую поверхность. Взаимодействие пробника датчика и объекта обычно происходит на расстоянии (долей миллиметра или нескольких миллиметров), благодаря этому можно делать замеры при высоких скоростях движения контролируемого объекта [1].

2. Точность полученных результатов.

При вихретоковом методе контроля, выходной сигнал имеет прямую корреляцию с величиной зазора между торцом пробника и поверхностью контролируемого объекта, поэтому, при этом методе, не требуется математическая обработка результатов измерения. Вихретоковый метод контроля не имеет нижнего предела по частоте;

3. Многопараметровость. Именно она позволяет отойти от тех факторов, которые негативно влияют на полученный результат. Проекция амплитудного или фазового значения сигнала или их приращение на разных частотах регистрации может выступать в качестве измеряемых величин;

4. Слабое влияние внешних факторов. Незначительность влияния таких факторов внешней среды, как: влажность, давление, загрязненность воздуха, радиоактивные излучения, загрязнение поверхности контроля [2];

5. Высокий уровень автоматизации. Возможность хранения результатов контроля в электронном виде.

Преимущества и недостатки вихретокового бесконтактного контроля взаимосвязаны между собой. Недостатки, как и преимущества, имеют своей основой особенности конструкции датчиков и теорию электромагнитного поля.

Можно выделить следующие основные недостатки:

1. Сложно обнаружить дефекты, которые находятся внутри материала;

2. Только электропроводящие объекты могут подвергаться контролю;

3. Сканировать поверхности, которые скрыты для доступа преобразователя, невозможно;

4. Затруднения при проведении вихретокового контроля при отсутствии однородных электромагнитных свойств объекта. В этом случае используют дифференциальные датчики и сложные алгоритмы обработки сигналов [4].

Несмотря на наличие недостатков, вихретоковые датчики перемещений отличаются надежностью, долговечностью и результативностью измерений.

Именно наличие недостатков стимулирует дальнейшее развитие более совершенных конструкции и функционала этого вида датчиков.

Заключение. В данной работе проведён аналитический обзор вихретоковых датчиков.

Принцип работы вихретокового датчика основывается на действии вихревых токов, электромагнитной индукции и опирается на теорию электродинамики [6].

Вихретоковый метод неразрушающего контроля по сравнению с другими методами, обладает ощутимыми преимуществами, а именно точность полученных результатов, многопараметровость, бесконтактность, слабое влияние факторов внешней среды, автоматизация.

С помощью вихретокового метода неразрушающего контроля можно оценивать состояние и механические свойства материалов, определять толщину слоя, выявлять дефекты в виде несплошностей, измерять расстояние между быстро движущимися объектами и тд.

Главенствующей областью применения датчиков является радиальная вибрация вала ротора относительно корпуса и осевое смещение. Виды вихретоковых датчиков перемещения зависят конструктивных и функциональных особенностей вихретоковых датчиковых систем. Вихретоковые датчики бывают параметрические, трансформаторные, абсолютные, дифференциальные, проходные, накладные, комбинированные, наружные, внутренние, экранные, погружные, щелевые.Несмотря на то, что история появления метода начинается с конца XIX в., конструктивно и функционально вихретоковые датчики совершенствуются до сих пор, в соответствии с изменяющимися потребностями и требованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.К. Федосенко, В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, Ю.Я. Останин Вихретоковый контроль//под ред. В.В. Клюев. - М.: «Машиностроение», 2003

2. В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, В.В. Сухоруков
Неразрушающий контроль// под ред. В.В. Сухоруков. - М.: «Высшая школа», 1992

3. Е.П. Грошков, А.В. Клюшев, А.А. Кирпичев, А.А. Редюшев «Интеллектуальные вихретоковые датчиковые системы»// ЭКСПОЗИЦИЯ - 2008-№2/Н (59)

4. А.В. Грабовский, Г.А. Петров «Многоканальные сканеры вихретокового контроля»//СПбГЭТУ «ЛЭТИ» - 2016 - Приборостроение и информационно-измерительные технологии №9.

5. М.К. Маркелов «Разработка вихретокового преобразователя для измерения зазора»// Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» - 2011

6. А.А. Дорофеев «Вихревые токи»//А.Л.Дорофеев.-М.: Энергия, 1977

УДК 621.382.32

Смирнов[1] В.И., Гавриков[2] А.А., Нейчев[3] В.Ф.

[1,2] Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук, Ульяновск, Россия

[3] Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

[1] smirnov-vi@mail.ru

[2] a.gavrikoff@gmail.com

[3] vladimirneichev@mail.ru

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МОНТАЖА КРИСТАЛЛОВ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В КОРПУС

Аннотация. Представлены результаты исследования качества монтажа полупроводниковых кристаллов к подложке. Качество монтажа оценивалось по значениям теплового сопротивления «кристалл - подложка» у бездефектных кристаллов и кристаллов с искусственно созданным дефектом монтажа – неполном нанесением адгезива на поверхность соприкосновения кристалла с подложкой. Измерения теплового сопротивления осуществлялись с помощью аппаратно-программного комплекса, в котором реализован модуляционный метод измерения. В основу метода положен нагрев объекта измерения тепловой мощностью, модулированной по гармоническому закону. Установлено, что у кристаллов с дефектом монтажа тепловое сопротивление «кристалл - подложка» выше, чем у бездефектных кристаллов, в результате чего температуры кристаллов при одинаковой рассеиваемой в них тепловой мощности отличаются между собой. Результаты измерения температуры перегрева кристаллов сравнивались с результатами, полученными на основе измерения температурных полей поверхности кристаллов с помощью инфракрасного тепловизора.

Ключевые слова: тепловое сопротивление, модуляционный метод, аппаратно-программный комплекс, тепловизионный контроль

Smirnov[1] V.I., Gavrikov[2] A.A., Neychev[3] V.F.

[1,2] Ulyanovsk Branch of Kotelnikov Institute of Radio-Engineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk, Russia

[3] Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

[1] smirnov-vi@mail.ru

[2] a.gavrikoff@gmail.com

[3] vladimirneichev@mail.ru

QUALITY CONTROL OF INSTALLATION OF POWER TRANSISTOR DIES INTO THE CASE

Annotation. The results of a study of the quality of mounting semiconductor dies to the substrate are presented. The quality of installation was assessed by the values of the thermal resistance "junction-substrate" for defect-free dies and dies with an artificially created installation defect - incomplete application of the adhesive to the contact surface of the die with the substrate. Thermal resistance measurements were carried out using a hardware-software complex that implements a modulation measurement method. The method is based on heating the measurement object with thermal power modulated according to a harmonic law. It has been established that in crystals with an installation defect the thermal resistance “junction-substrate” is higher than in defect-free dies, as a result of which the temperatures of the dies with the same thermal power dissipated in them differ from each other. The results of measuring the overheating temperature of the dies were compared with the results obtained from measuring the temperature fields of the surface of the dies using an infrared thermal imager.

Keywords: thermal resistance, modulation method, hardware and software complex, thermal imaging control

Введение. Надежность радиоэлектронной аппаратуры во многом определяется условиями ее эксплуатации, в первую очередь, температурой, при которой функционируют ее активные электронные компоненты [1]. В значительной степени это относится к мощным транзисторам, в которых рассеиваемая мощность может достигать 1 кВт, что требует эффективного отвода тепла от полупроводниковых кристаллов к корпусу транзистора и далее в радиатор и окружающую среду. Эффективность отвода тепла определяется тепловым сопротивлением R_{Tjc} «переход-корпус», которое определяется отношением приращения температуры электронно-дырочного перехода ΔT_j, вызванного рассеиванием в транзисторе тепловой мощности P, к величине этой мощности [2]:

$$R_{Tjc} = \frac{T_j - T_c}{P} = \frac{\Delta T_j}{P}, \quad (1)$$

где T_j – температура перехода транзистора; T_c – фиксированная температура корпуса.

Обычно нагрев транзистора производят импульсами греющего тока $I_{гр}$. После каждого импульса производят измерение тмпературочувствительного параметра (ТЧП), линейно связанного с температурой перехода T_j. В качестве ТЧП для транзисторов часто используют прямое падение напряжения на каком-либо *p-n*-переходе при протекании через него фиксированного измерительного тока $I_{изм}$.

На точность измерения R_{Tjc} влияют ряд факторов, среди которых можно выделить два: неопределенность с длительностью импульса и переходные электрические процессы, возникающие после окончания греющего импульса. Согласно стандартам [2, 3] длительность греющего импульса должна быть такой, чтобы кристалл транзистора достиг стационарного теплового состояния, а температура корпуса при

этом осталась неизменной. Это требует знания тепловой постоянной времени «кристалл-корпус», которая во многих случаях априори неизвестна. Для устранения влияния этого фактора нагрев транзистора производят импульсами с нарастающей по логарифмическому закону длительностью [4].

Для устранения влияния второго фактора измерение ТЧП производят не непосредственно после окончания греющего импульса, а с некоторой временной задержкой, необходимой для завершения переходных электрических процессов [3, 4]. Время задержки для разных типов корпусов транзисторов может сильно отличаться между собой, поэтому часто используют аппроксимацию значения ТЧП к моменту окончания греющего импульса. Для аппроксимации используют результаты работы [5], в которой показано, что изменение ТЧП после окончания греющего импульса описывается корневой зависимостью.

Альтернативой стандартным методам является модуляционный метод [6], использующий нагрев транзисторов тепловой мощностью, модулированной по гармоническому закону. Модуляция рассеиваемой в транзисторе мощности осуществляется путем изменения по гармоническому закону длительности греющих импульсов. Это приводит к аналогичному изменению температуры перехода, сдвинутому по фазе относительно переменной мощности. Измерив амплитуды переменных составляющих греющей мощности P_1 и температуры перехода T_{j1}, можно найти модуль Z_T и фазу φ теплового импеданса на частоте модуляции ν:

$$Z_T = \frac{T_{j1}}{P_1}, \quad \phi = arctg\frac{Im\,T_j}{Re\,T_j},$$

где $\mathrm{Im}\ T_j$ и $\mathrm{Re}\ T_j$ – мнимая и вещественная Фурье-трансформанты температуры перехода на частоте модуляции ν.

Измерив частотную зависимость вещественной части теплового импеданса $\mathrm{Re}\ Z_T(\nu)$, и проведя ее анализ, можно определить компоненты теплового сопротивления, связанные с элементами конструкции транзистора, по которому распространяется тепловой поток [7]. Данный метод был успешно апробирован на таких объектах, как мощные MOSFET- и IGBT-транзисторы [8], HEMT-транзистора [9], а также силовые модули на MOSFET-транзисторах [10].

Объект и задачи исследования. Объектом исследования являлся специально изготовленный модуль из трех биполярных транзисторов, кристаллы которых смонтированы на медной подложке, закрепленной на радиаторе. Монтаж кристаллов осуществлялся посредством адгезива марки XH9960-1 фирмы NAMICS. При монтаже одного из кристаллов искусственно создавался дефект, а именно, поверхность соприкосновения кристалла с подложкой была не полностью заполнена адгезивом. Такой дефект монтажа должен привести к более высокому значению теплового сопротивления «кристалл-подложка» по сравнению с бездефектными кристаллами.

Целью исследования являлось измерение теплового сопротивления «кристалл-подложка» у всех трех кристаллов и оценка возможности обнаружения дефекта монтажа. Измерение теплового сопротивления производилось модуляционным методом, что позволило определить не только компоненту теплового сопротивления «кристалл-подложка», но и компоненту «кристалл-радиатор». Знание теплового сопротивления «кристалл-подложка» позволяет оценить перегрев кристалла относительно подложки при известной рассеиваемой мощности. Полученные таким способом значения температуры перегрева кристаллов сравнивались с результатами измерения температуры кристаллов методами тепловизионного контроля [11].

Аппаратно-программный комплекс. Модуляционный метод измерения теплового сопротивления был реализован в аппаратно-программном комплексе, функциональная схема которого представлена на рисунке 1. Его работа организована следующим образом. Из компьютера в микроконтроллер поступает пакет данных с установленными оператором значениями рабочих параметров измерения (амплитуда импульсов греющего тока, период следования импульсов, частота модуляции, время задержки и др.). Микроконтроллер передает цифровому потенциометру (ЦП) код, устанавливающий заданную амплитуду $I_{гр}$, после чего формируется последовательность импульсов греющего тока с широтной модуляцией, которые протекают через произвольно выбранный биполярный транзистор. В паузах между импульсами с заданной временной задержкой производится измерение ТЧП – напряжение между базой и эмиттером транзистора при прямом измерительном токе $I_{изм}$. Результаты измерения ТЧП оцифровываются с помощью внешнего 16-битного АЦП и посредством SPI-интерфейса передаются в микроконтроллер. Напряжение между коллектором и эмиттером транзистора через дифференциальный усилитель (ДУ) поступает на вход встроенного в микроконтроллер АЦП. По окончании каждого измерения теплового сопротивления все результаты передаются в компьютер посредством USB-интерфейса.

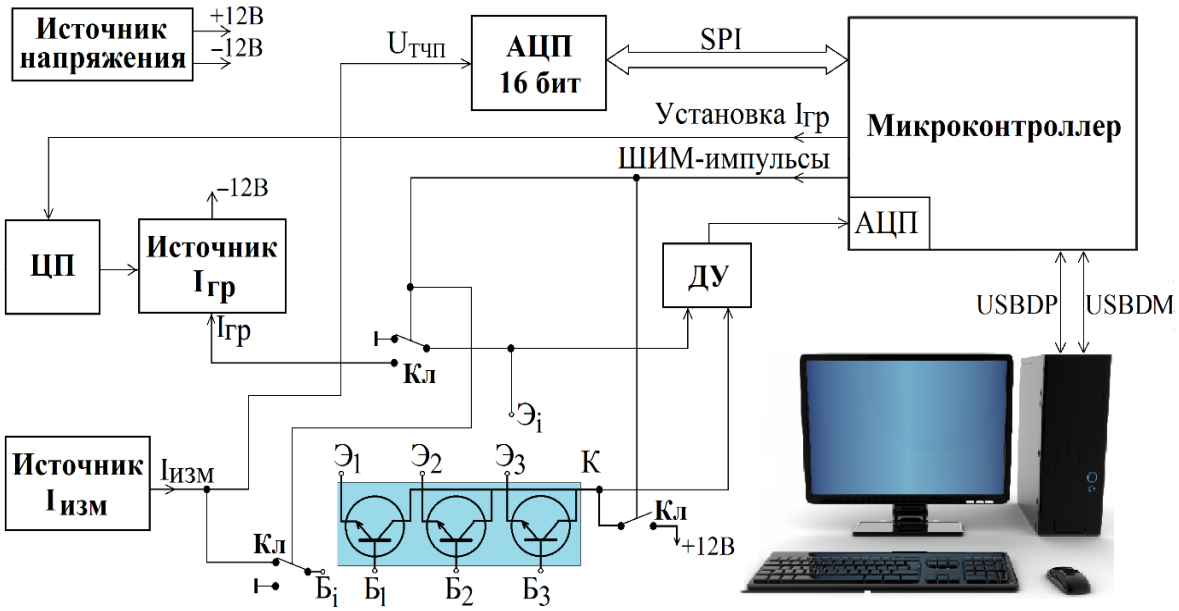


Рисунок 1 - Функциональная схема аппаратно-программного комплекса

Кроме измерения теплового сопротивления на заданной частоте модуляции греющей мощности программное обеспечение комплекса позволяет реализовать ряд других режимов работы. К ним, в частности, относятся измерения частотных зависимостей модуля и фазы теплового импеданса с последующим анализом полученных зависимостей, измерения переходных тепловых характеристик и определение теплового сопротивления стандартным методом, измерения вольтамперных характеристик, проведение производственных испытаний однотипных объектов и их отбраковку по величине теплового сопротивления.

Результаты измерения теплового сопротивления. При использовании модуляционного метода компоненты теплового сопротивления определяются из анализа частотной зависимости вещественной части теплового импеданса $\mathrm{Re}\ Z_T(\nu)$. Эти зависимости $\mathrm{Re}\ Z_T(\nu)$ имеют особенности в виде пологих участков и точек перегиба, которые связаны с компонентами теплового сопротивления. Для определения этих компонент производилось дифференцирование $\mathrm{Re}\ Z_T(\nu)$ по частоте модуляции и вычисление $[d(\mathrm{Re}\ Z_T)/d\nu]^{-1}$ как функции переменной $\mathrm{Re}\ Z_T(\nu)$. Измеренная с помощью АПК частотная зависимость $\mathrm{Re}\ Z_T(\nu)$ и результат ее обработки представлены на рисунке 2. Измерения проводились при $I_{гр}$=1000 мА в диапазоне частот модуляции от 400 до 2 Гц с равномерным по логарифмической шкале шагом 0,05.

Компоненты теплового сопротивления проявляются в виде локальных максимумов, положение которых относительно оси абсцисс определяет значения этих компонент. Поскольку объект измерения имеет относительно простую структуру «кристалл-подложка-радиатор», то на нижнем графике возникают два максимума, один из которых соответствует компоненте теплового сопротивления «кристалл-подложка», второй – «кристалл-радиатор». Значения этих компонент для бездефектного кристалла № 2 равны соответственно R_{T1}=2,45 К/Вт и R_{T2}=2,62 К/Вт. Для аналогичного транзистора № 1 значения компонент отличаются менее чем на 3 %. Для кристалла № 3 с дефектом монтажа к подложке значения R_{T1} и R_{T2} получились равными 2,63 и 2,84 К/Вт соответственно.

Знание теплового сопротивления «кристалл-подложка» позволяет с помощью формулы (1) оценить перегрев кристалла относительно подложки при известной рассеиваемой мощности P. Так, например, при P=10 Вт температура перегрева кристалла № 2 составит T_2=24,5°C, а кристалла № 3 – T_3=26,3°C. Различие температур бездефектного кристалла и кристалла с дефектом монтажа в этом случае составит величину ΔT_{32}=1,8°C.

Измерение теплового поля кристаллов. С целью проверки полученных результатов были произведены измерения теплового поля, созданного нагретыми кристаллами. Измерения проводились с использованием инфракрасного тепловизора Testo 876. Основные характеристики тепловизора: матрица – 160×120 пикселей; температурная чувствительность – на уровне 80 мК; спектральный диапазон – от 8 до 14 мкм; угол обзора объектива 32°×23°; минимальное фокусное расстояние объектива – 0,1 м; частота обновления кадров – 9 Гц. В связи с тем, что фокусное расстояние стандартного объектива слишком большое для наблюдения мелких деталей структуры транзисторов, была установлена дополнительная плосковыпуклая германиевая линза с фокусным расстоянием 9 мм.

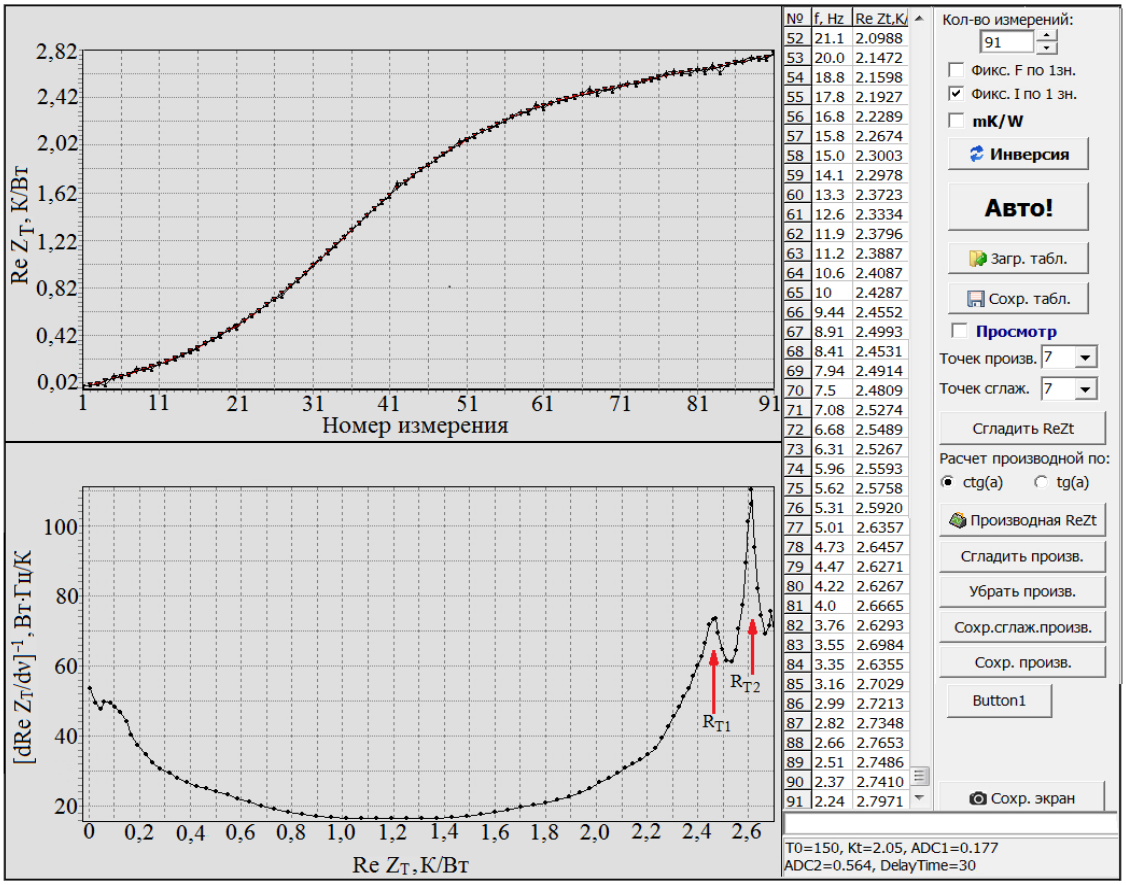


Рисунок 2 - Частотная зависимость вещественной части теплового импеданса (вверху)и результат ее обработки (внизу)

Нагрев транзисторов производился импульсами тока. Длительность импульсов подбиралась достаточной для того, чтобы температура каждого кристалла достигала стационарного значения. Для этого производилось измерение переходной тепловой характеристики – зависимости теплового импеданса от длительности греющих импульсов. Было установлено, что в диапазоне длительностей от 40 до 800 мс переходная тепловая характеристика имеет пологий участок, после чего начинается ее резкий рост. Поэтому измерение теплового поля производилось непосредственно после воздействия греющего импульса длительностью 800 мс. Амплитуда импульсов устанавливалась равной 8,0 А, что обеспечивало выделение в каждом транзисторе мощности 9,1 Вт.

Распределение температуры по поверхности бездефектного кристалла № 2 и кристалла № 3 с дефектом монтажа представлены на рисунке 3. Для удобства восприятия температурного поля на рисунке 3а приведено увеличенное изображение кристалла № 3.



а) б) в)

Рисунок 3 - Кристалл биполярного транзистора: а) внешний вид; б) тепловое поле бездефектного кристалла № 2; в) тепловое поле кристалла № 3 (с дефектом монтажа)

Тепловизор Testo 876 позволяет на полученных изображениях теплового поля определить температуру наиболее нагретых участков. Для кристалла № 2, у которого слой адгезива распределен равномерно по всей поверхности соприкосновения кристалла с подложкой, тепловое поле однородное, при этом температура в центре кристалла T_2=40,5°С (рисунок 3б). Для кристалла № 3 с дефектом монтажа распределение температуры по площади кристалла существенно неоднородно. В области дефекта (отсутствие адгезива под кристаллом) температура кристалла существенно выше, чем на других участках поверхности кристалла. Измеренная тепловизором максимальная температура над дефектом T_{3max}=43,6°С (рисунок 3в). Средняя по поверхности кристалла температура примерно равна T_3=42,3°С.

На точность определения температуры поверхности кристаллов кремния влияет ряд факторов, в частности, состояние поверхности и наличие оксидной пленки на поверхности кристалла, излучательная способность кремния, которая, в свою очередь, зависит от температуры кристалла [12]. Все эти факторы оказывают одинаковое влияние на оба кристалла, поэтому при сравнении тепловых полей двух кристаллов можно корректно оценивать только их разность температур $\Delta T_{32}=T_3-T_2$. При рассеиваемой в кристаллах тепловой мощности 9,1 Вт разность средних температур обоих кристаллов ΔT_{32}=1,8°С, а при пересчете на 10 Вт рассеиваемой мощности ΔT_{32} получается равной 2,0°С. Это значение хорошо согласуется с результатами, полученным на основе измерения теплового сопротивления «кристалл-подложка».

Заключение.

В результате проведенных исследований были измерены тепловые сопротивления «кристалл-подложка» биполярных транзисторов, сформированных в кристаллах кремния. Для измерений использовался модуляционный метод, в котором нагрев объекта осуществлялся модулированной по гармоническому закону мощностью. Чтобы выявить влияние качества монтажа на результаты измерения теплового сопротивления, у одного из кристаллов был искусственно создан дефект монтажа, а именно, слой адгезива между кристаллом и подложкой заполнял поверхность соприкосновения не полностью. Исследования показали, что тепловое сопротивление кристалла с дефектом монтажа получилось на 0,18 К/Вт или примерно на 7% выше, чем у бездефектного кристалла. Таким образом, при рассеивании в обоих транзисторах одинаковой тепловой мощности P=10 Вт различие температур кристаллов составит 1,8°С. Это значение хорошо согласуется с результатами измерения теплового поля нагретых транзисторов, полученными с помощью инфракрасного тепловизора.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-29-00026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришко А.К., Цуприк А.Д., Новиков К.С. и др. Методы обеспечения теплового режима радиоаппаратуры // Надежность и качество-2019: труды международного симпозиума. Т. 1. / Под ред. Н.К. Юркова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2019. С. 274–276.

2. ГОСТ 19656.15-84. Диоды полупроводниковые СВЧ. Методы измерения теплового сопротивления переход-корпус и импульсного теплового сопротивления. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 21 с.

3. ОСТ 11 0944-96. Микросхемы интегральные и приборы полупроводниковые. Методы расчета, измерения и контроля теплового сопротивления. М. : ГУП НПП Пульсар, 1997. – 110 с.

4. Transistor Electrical Test Methods for Semiconductor Devices. MIL-STD-750-3. Department of Defense.

5. Oettinger F.F., Blackburn D.L. Thermal Resistance Measurements. – National Institute of Standards and Technology, 1990. – 72 p.

6. Smirnov V.I., Sergeev V.A., Gavrikov A.A., Shorin A.M. Modulation method for measuring thermal impedance components of semiconductor devices // Microelectronics Reliability. 2018. V.80. P. 205–212.

7, Смирнов В.И., Гавриков А.А., Шорин А.М. Метод измерения компонент теплового сопротивления полупроводниковых приборов и его практическая реализация // Автоматизация процессов управления. 2017. № 2 (48). С. 98–105.

8. Smirnov V.I., Sergeev V.A., Gavrikov A.A., Shorin A.M. Thermal impedance meter for power MOSFET and IGBT transistors // IEEE Transactions on Power Electronics. 2018. V. 33. P. 6211–6216.

9. Smirnov V.I., Sergeev V.A., Gavrikov A.A., Kulikov A.A. Measuring thermal resistance of GaN HEMT transistors // IEEE Transactions on Electron Devices. 2020. V. 67. P. 4112–4117.

10. Smirnov V.I., Gavrikov A.A. Measurement of the Thermal Impedance Matrix of Power Modules by the Modulation Method // IEEE Transactions on Electron Devices. 2023. V. 70, P. 5223–5227.

11. Исаев С.С., Юрков Н.К. Методика тепловизионного контроля неисправностей печатных узлов РЭА на этапе производства // Надежность и качество-2013: труды международного симпозиума. Т. 2. / Под ред. Н.К. Юркова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. С. 92–95.

12. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применения. – М.: Мир, 1988. – 416 с.

УДК 004.932:519.64

Васильев[1] К.А., Новиков[2] А.И.

[1,2] Рязанский государственный радиотехнический университет им. В. Ф. Уткина, Рязань, Россия

[1] cornholio62@yandex.ru

[2] novikovanatoly@yandex.ru

РАЗМЫТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ КАК СПОСОБ МАСКИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ И ЗАДАЧА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Аннотация. Фильтрация дискретного белого шума с помощью линейных фильтров, особенно с ядром большого размера, приводит одновременно к размытию изображения. Размытие изображения, в свою очередь, затрудняет решение задачи формирования контурного изображения. Недостатки размытия можно обратить в достоинства, усилив эффект размытия для маскирования информации, содержащейся в изображении, передаваемом по незащищенным каналам связи. При этом возникает новая задача - корректное восстановление информации на принимающей стороне. Названная задача относится к классу некорректных задач и называется обратной задачей. Для ее решения требуется применение специальных методов, позволяющих сузить класс допустимых решений. В работе приводятся примеры маскирования информации и обсуждаются возможные способы ее восстановления на принимающей стороне.

Ключевые слова: размытие изображения, ядро оператора, стабилизирующий функционал, параметр регуляризации, восстановленное изображение

Vasiliev[1] K.A., Novikov[2] A.I.

[1,2] Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin, Ryazan, Russia

[1] cornholio62@yandex.ru

[2] novikovanatoly@yandex.ru

IMAGE BLURRING AS A WAY OF MASKING INFORMATION AND THE TASK OF IMAGE RESTORATION

Annotation. Filtering discrete white noise using linear filters, especially with a large core, leads to image blurring at the same time. Image blurring, in turn, makes it difficult to solve the problem of contour image formation. The disadvantages of blurring can be turned into advantages by enhancing the effect of blurring to mask the information contained in the image transmitted over unsecured communication channels. At the same time, a new task arises - the correct recovery of information on the receiving side. The named problem belongs to the class of incorrect problems and is called the inverse problem. To solve it, it requires the use of special methods that allow you to narrow down the class of acceptable solutions. The paper provides examples of masking information and discusses possible ways to restore it on the receiving side.

Keywords: image blurring, operator core, stabilizing functional, parameterization parameter, reconstructed image

ВВЕДЕНИЕ

В промышленных системах технического зрения (СТЗ) практически всегда приходится решать задачу подавления дискретного белого шума. Например, в СТЗ летательных аппаратов и робототехнических комплексов есть подсистема предварительной обработки изображения, включающая в себя задачу улучшения изображения [1, 2]. Применяемые для этих целей линейные операторы (фильтры) $\boldsymbol{A}$ работают как свертка ядра (маски) оператора размером $(2k+1)\times(2k+1)$ с фрагментом изображения [1]

$$\boldsymbol{A}I_{ij} = a * I = \sum_{s=-k}^{k}\sum_{t=-k}^{k}\alpha_{st}\, I_{i+s,j+t} \qquad (1)$$

Чем больше размер ядра, тем лучше подавляется шум. Одновременно увеличивается размытие изображения. При размере ядра уже 11x11 размытие заметно визуально. Проблема размытия изображений в СТЗ промышленного уровня заключается в том, что создаются неблагоприятные условия для решения задач более высокого уровня, в частности задачи обнаружения границ перепада яркостей [1].

Эффект размытия изображения можно обратить в положительное качество, если использовать его для маскирования информации, содержащейся, например, в текстовом или голосовом сообщении. Для маскирования информации используются различные подходы. Так, например, в [3] предложено использовать для обеспечения безопасной связи теорию хаотических аттракторов. При этом предложенный метод маскирования доведен до уровня практического применения в виде соответствующего программного комплекса [4]. Использование процедуры маскирования информации с помощью достаточно сложного математического аппарата требует от третьих лиц, пытающихся получить доступ к конфиденциальной информации, привлечения высококвалифицированных математиков и программистов. Временные и финансовые затраты могут быть несовместимыми с эффектом от доступа к скрытой информации.

Размытия изображения на передающей стороне с целью маскирования информации порождает проблему восстановления размытого изображения на принимающей стороне. Восстановление размытого изображения, как уже отмечалось, должно быть максимально затруднено для третьих лиц и обеспечивать корректное восстановление с

минимальными вычислительными затратами на принимающей стороне. Этого можно добиться за счет выбора формы и размера ядра размытия. Некорректность обратной задачи создает дополнительные преграды на пути несанкционированного доступа к передаваемой информации. Для решения обратной задачи восстановления нужны специальные математические методы и соответствующее программное обеспечение. Размытие как способ маскирования информации, передаваемой по незащищенным каналам связи, можно использовать для передачи служебной информации, содержащей конфиденциальные сведения, например, уровня [5, 6].

ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Процесс формирования сигнала с неидеальной аппаратной функцией описывается интегральным уравнением Фредгольма 1-го рода [7, 8]

$$\int_a^b K(x,s)\cdot\phi(s)ds = f(x), \quad a \le x,s \le b \tag{2}$$

для одномерного сигнала и

$$\int_c^d\int_a^b K(x,y,t,s)\cdot\phi(t,s)dtds = f(x,y), \quad x,y \in [a,b]\times[c,d] \tag{3}$$

- для двумерного (изображения). В (2) и (3) $K(x,s)$, $K(x,y,t,s)$ - ядра интегрального уравнения (аппаратная функция прибора); $f(x)$, $f(x,y)$ - наблюдаемые сигналы (изображения); $\phi(s)$, $\phi(t,s)$ - истинные сигналы, которые должны быть найдены в результате решения уравнений (2) и (3). Подобные задачи возникают в спектроскопии, радиолокации и при формировании изображения со смещенным фокусом [9-12].

Идеальная аппаратная функция прибора – это дельта-функция. В реальных приборах такая функция имеет вид кривой задаваемой функцией $K(x,s) = q\cdot exp(-r(x-s)^2)$ - в одномерном случае и

$$K(x,y,t,s) = q\cdot exp\big(-(r_1(x-s)^2 + r_2(y-t)^2)\big) \tag{4}$$

- в двумерном. Здесь q, r_1, r_2- некоторые константы, определяющие «амплитуду» и островершинность колоколообразной поверхности, задаваемой функцией (4). Функция (4) может быть переписана в виде

$$K(x,y,t,s) = K_1(x,s)\cdot K_2(y,t).$$

Такая особенность функции вида (4) позволяет размыть изображение Iсначала по строкам с ядром $K_1(x,s)$, получив в результате этого шага изображение $I_1 = K_1 * I$. Затем полученное изображение I_1 размыть по столбцам с ядром $K_2(y,t)$: $I_2 = K_2 * I_1$

Восстановление изображения, размытого с использованием ядра вида (4) также можно осуществить в два этапа. Сначала восстановить промежуточное изображение $\hat{I}_1 = \boldsymbol{A}^{-1}I_2$, а после этого исходное изображение: $\hat{I} = \boldsymbol{A}^{-1}\hat{I}_1$. Проблема, возникающая при восстановлении сигнала в реальных системах заключается в том, что правая часть уравнения (2) или (3) – функция f - известна неточно. Вместо нее наблюдается функция $\tilde{f}_\delta = f + \xi$такая, что : $\left\|\tilde{f}_\delta - f\right\|_2 \le \delta$. При этом, как известно [3], даже малые изменения функции f могут приводить к большим изменениям результата решения уравнения (2) или (3). Поэтому прямое применение обратного оператор $\boldsymbol{A}^{-1}$ для нахождения решения задачи невозможно. Общепринятый подход к поиску квазиоптимального решения заключается в замене исходной некорректной задачи задачей условной минимизации [7]:

$$\begin{cases} \boldsymbol{J(y, f_\delta, \alpha) \to \min\limits_{y_\delta}} \\ \left\|\boldsymbol{A y^{(\alpha_{opt})} - \tilde{f}_\delta}\right\|^2 = \boldsymbol{\delta} \end{cases}, \tag{5}$$

где

$$J(y, f_\delta, \alpha) = \left\|\boldsymbol{A}y - \tilde{f}_\delta\right\|^2 + \alpha\cdot\boldsymbol{\Omega}[y], \quad \boldsymbol{\Omega[y]} = \int_a^b \left(\left(\boldsymbol{\phi(s)}\right)^2 + \boldsymbol{q}\left(\boldsymbol{\phi}'(\boldsymbol{s})\right)^2\right)\boldsymbol{ds},$$

Параметр q в составе стабилизирующего функционала $\boldsymbol{\Omega}[y]$ определяет требования к степени гладкости получаемого решения. Если $q = 1$, то $\boldsymbol{\Omega}[y] = \|y\|_{W_2^1[a,b]}$, если же $q = 0$, то $\boldsymbol{\Omega}[y] = \|y\|_{L_2[a,b]} = \int_a^b \left(\left(\phi(s)\right)^2\right)ds$. Параметр α в составе сглаживающего функционала $J(y, f_\delta, \alpha)$ является параметром регуляризации.

Квазиоптимальное решение $\phi(x)$ в одномерном случае, или $\phi(x,y)$ в двумерном, ищется как решение интегро-дифференциального уравнения Эйлера

$$(\boldsymbol{K^*K} + \alpha\boldsymbol{W})\cdot\phi = \boldsymbol{K^*f}, \tag{6}$$

где $\boldsymbol{K^*K\phi} = \int_a^b \left(\int_c^d K(x,s)K(s,t)dx\right)\phi(t)dt$, $\boldsymbol{W\phi} = \left(\phi(s) - q\frac{d^2\phi(s)}{ds^2}\right)$

Отметим, что $\boldsymbol{W\phi = \phi}$ в метрике пространства $\boldsymbol{K^*K\phi}$. На дискретной сетке уравнению Эйлера (6) будет отвечать система линейных алгебраических уравнений

$$(\boldsymbol{R^TR} + \alpha\boldsymbol{W})\cdot\Phi = \boldsymbol{R^TF}, \tag{7}$$

в составе которой матрица $\boldsymbol{R}$ имеет следующий вид

$$\boldsymbol{R}=\begin{pmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & \dots & r_k & 0 & \dots & 0 & 0 \\ r_1 & r_0 & r_1 & \dots & r_{k-1} & r_k & \dots & 0 & 0 \\ r_2 & r_1 & r_0 & \dots & r_{k-2} & r_{k-1} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_k & r_{k-1} & r_{k-2} & \dots & r_0 & r_1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & r_k & r_{k-1} & \dots & r_1 & r_0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & r_0 & r_1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & r_1 & r_0 \end{pmatrix},$$

Матрица $\boldsymbol{R}$ порождена вектор-строкой $(r_k, r_{k-1}, \dots r_1, r_0, r_1, \dots, r_{k-1}, r_k)$. Каждая следующая строка этой матрицы получается в результате циклического сдвига на одну позицию предыдущей строки. При этом матрица $\boldsymbol{W}$ в (7) будет совпадать с единичной матрицей в случае поиска решения уравнения Эйлера в метрике пространства $\boldsymbol{K^*K\phi}$. Введем обозначения $\boldsymbol{B}=\boldsymbol{R^TR}+\alpha\boldsymbol{E}$, $\boldsymbol{V}=\boldsymbol{R^TF}$. В результате система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) (7) примет следующий вид

$$\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{\Phi}=\boldsymbol{V}. \qquad (8)$$

Матрица $\boldsymbol{B}$ данной СЛАУ является симметричной, положительно определенной и. теплицевой [13]. Значит, для решения СЛАУ (8) можно использовать устойчивые к вычислительным ошибкам, что важно для некорректных задач, и более быстрые алгоритмы. Это либо метод квадратного корны [14, 15], либо метод решения СЛАУ с теплицевой основной матрицей [13] .

Приведем в кратком изложении алгоритм решения некоторой СЛАУ $\boldsymbol{AZ}=\boldsymbol{B}$ с теплицевой основной матрицей $\boldsymbol{A}$, изложенный в [13]. Пусть

$$\boldsymbol{A}=\begin{pmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & \dots & a_{n-1} \\ a_1 & a_0 & a_1 & \dots & a_{n-2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n-1} & a_{n-2} & a_{n-3} & \dots & a_0 \end{pmatrix},\ \boldsymbol{Z}=\begin{pmatrix} z_0 \\ z_1 \\ z_2 \\ \dots \\ z_{n-1} \end{pmatrix},\ \boldsymbol{B}=\begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_{n-1} \end{pmatrix}.$$

$\boldsymbol{A}$ - заданная теплицева матрица, $\boldsymbol{B}$ - заданный вектор-столбец правой части, $\boldsymbol{Z}$ - подлежащий определению вектор-столбец неизвестных.

$$\boldsymbol{k=0}: x_0^{(1)}=\frac{1}{p_0a_0},\ z_0^{(1)}=\frac{b_0}{a_0};$$

Здесь p_0- произвольное ненулевое число. Можно принять $p_0=1$. Здесь и далее $x_0^{(k)}$ - элементы вспомогательного вектора.

$$k=\overline{1,n-1}:$$

$F_k=a_kx_0^{(k-1)}+a_{k-1}x_1^{(k-1)}+\dots+a_1x_{k-1}^{(k-1)}$,

$s_k=-F_kp_{k-1}$,

$p_k=\frac{p_{k-1}}{1-s_k^2}$,

$$\begin{pmatrix} x_0^{(k)} \\ x_1^{(k)} \\ \dots \\ x_{k-1}^{(k)} \\ x_k^{(k)} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} x_0^{(k-1)} \\ x_1^{(k-1)} \\ \dots \\ x_{k-1}^{(k-1)} \\ 0 \end{pmatrix}+s_k\begin{pmatrix} 0 \\ x_{k-1}^{(k-1)} \\ \dots \\ x_1^{(k-1)} \\ x_0^{(k-1)} \end{pmatrix},$$

$\varepsilon_k=b_k-a_kz_0^{(k-1)}-a_{k-1}z_1^{(k-1)}-\dots-a_1z_{k-1}^{(k-1)}$,

$w_k=\varepsilon_kp_k$,

$$\begin{pmatrix} z_0^{(k)} \\ z_1^{(k)} \\ \dots \\ z_{k-1}^{(k)} \\ z_k^{(k)} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} z_0^{(k-1)} \\ z_1^{(k-1)} \\ \dots \\ z_{k-1}^{(k-1)} \\ 0 \end{pmatrix}+w_k\begin{pmatrix} x_k^{(k)} \\ x_{k-1}^{(k)} \\ \dots \\ x_1^{(k)} \\ x_0^{(k)} \end{pmatrix}$$ - на последнем n-м шаге.

В настоящей работе реализован поиск оптимального решения СЛАУ (8) в метрике пространства $L_2[a,b]$ с теплицевой основной матрицей $\boldsymbol{B}$ по следующему алгоритму [4]:

- задается монотонно убывающая последовательность 1, 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3},… значений параметра регуляризации α;

- для каждого значения параметра регуляризации α_k формируется и решается СЛАУ (8). В результате получается параметрическое семейство решений $\boldsymbol{Y}_i=\boldsymbol{Y}(\alpha_i)$; ;

- начиная со второго шага (со второй СЛАУ) вычисляется уклонение $\delta_i=\|\boldsymbol{Y}_i-\boldsymbol{Y}_{i-1}\|_2$в евклидовой метрике текущего вектора $\boldsymbol{Y}_i$ от предыдущего $\boldsymbol{Y}_{i-1}$;

- начиная с четвертого шага проверяется выполнение неравенств $\begin{cases}\delta_i < \delta_{i-1}, \\ \delta_i < \delta_{i+1}.\end{cases}$ Если для некоторого i_0 (для некоторого α_{i_0}) эти неравенства выполнялись, то производилось уточнение оптимального значения параметра регуляризации и отвечающего ему квазиоптимального решения $\boldsymbol{Y}_{opt} = \boldsymbol{Y}(\alpha_{opt})$ на более мелкой сетке в окрестности точки α_{i_0}.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для формирования ядра размывающего оператора использовалась порождающая функция вида:

$$K(x,s) = \lambda e^{-\frac{(x-s)^2}{\sigma^2}}, \qquad (9)$$

где $\lambda = 1$, s - центр ядра, σ- параметр, от которого зависит длина ненулевой части ядра. Функция (9) определена на всей числовой оси, но при этом $K(x,s) \to 0$ при $x \to \infty$. Поэтому «хвосты» функции $K(x,s)$ обрезаются. В результате получается вектор-строка $(r_k, r_{k-1}, \ldots r_1, r_0, r_1, \ldots, r_{k-1}, r_k)$ конечной длины $(2k+1)$. Подбор параметров в формуле (9), обеспечивающих формирование вектор-строки такой длины достигается условием $r_k = 10^{-6}$. И условием $\sum_{i=-k}^{k} r_i = 1$. В итоге, разностное ядро длины 2k+1=101 имеет следующий вид (рис.1):

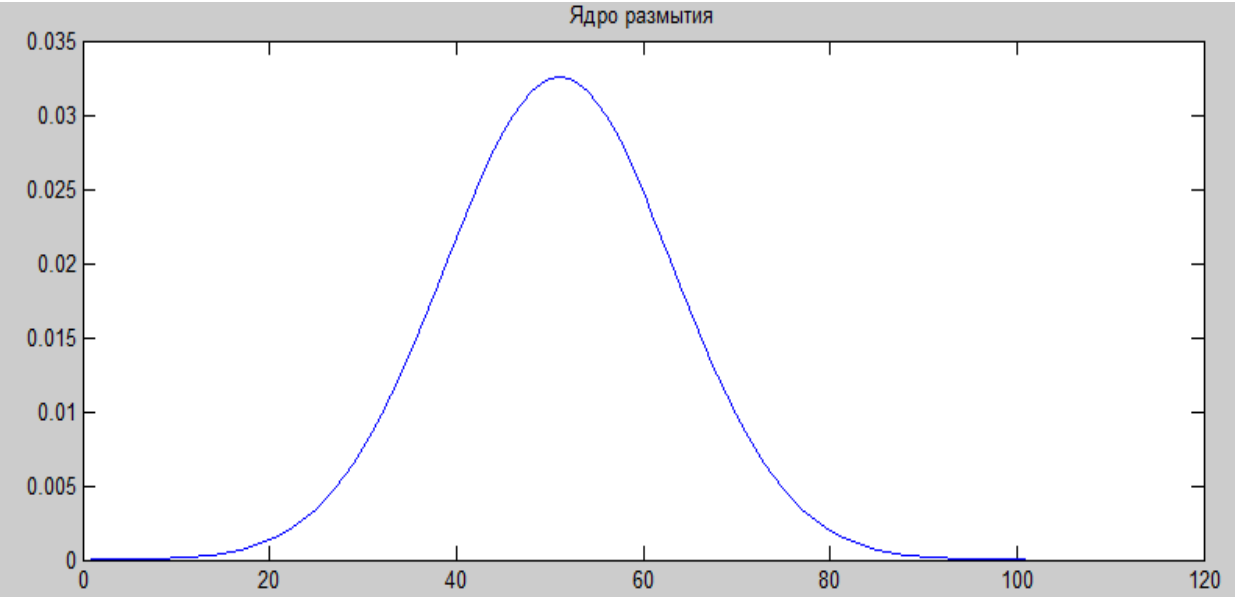


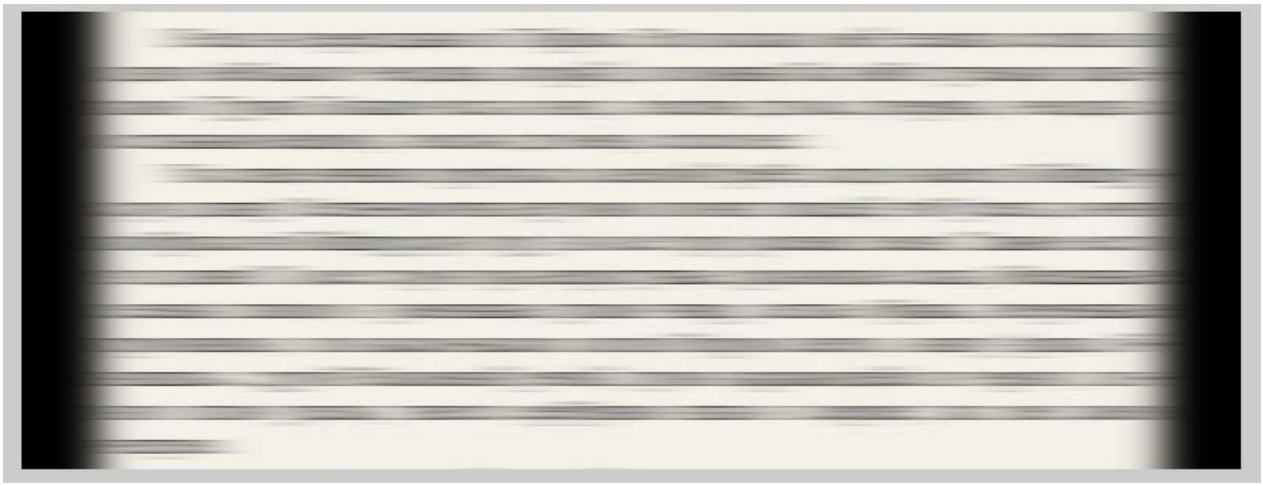
Рисунок 1 - Ядро размытия длины 101

Затем формировалась матрица $\boldsymbol{R}$, в результате умножения которой на каждую строку изображения (на транспонированную матрицу $\boldsymbol{I}^T$) каждой цветовой составляющей матрицы исходного изображения I. На рис. 2,а и 2,б приведены исходное текстовое изображение и результат его размытия при указанных выше размерах вектор-строки $(r_k, r_{k-1}, \ldots r_1, r_0, r_1, \ldots, r_{k-1}, r_k)$, порождающей ядро размытия $\boldsymbol{R}$.

Я ехал на перекладных из Тифлиса. Вся поклажа моей тележки состояла из одного небольшого чемодана, который до половины был набит путевыми записками о Грузии. Большая часть из них, к счастию для вас, потеряна, а чемодан с остальными вещами, к счастью для меня, остался цел.

Уж солнце начинало прятаться за снеговой хребет, когда я въехал в Койшаурскую долину. Осетин-извозчик неутомимо погонял лошадей, чтоб успеть до ночи взобраться на Койшаурскую гору, и во все горло распевал песни. Славное место эта долина! Со всех сторон горы неприступные, красноватые скалы, обвешанные зеленым плющом и увенчанные купами чинар, желтые обрывы, исчерченные промоинами, а там высоко-высоко золотая бахрома снегов, а внизу Арагва, обнявшись с другой безыменной речкой, шумно вырывающейся из черного, полного мглою ущелья, тянется серебряною нитью и сверкает, как змея своею чешуею.

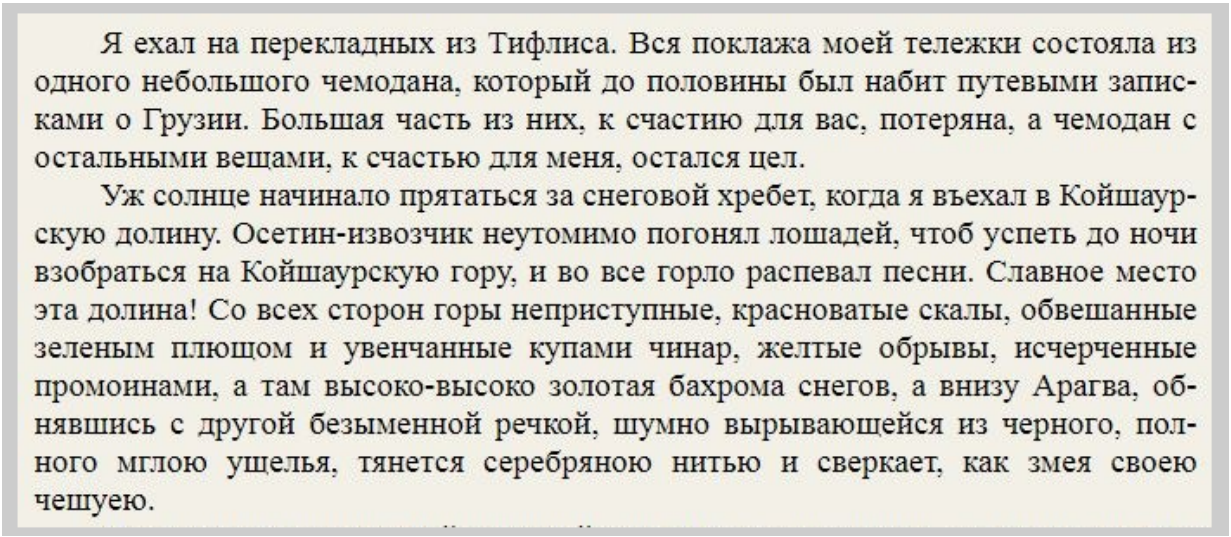
а



б

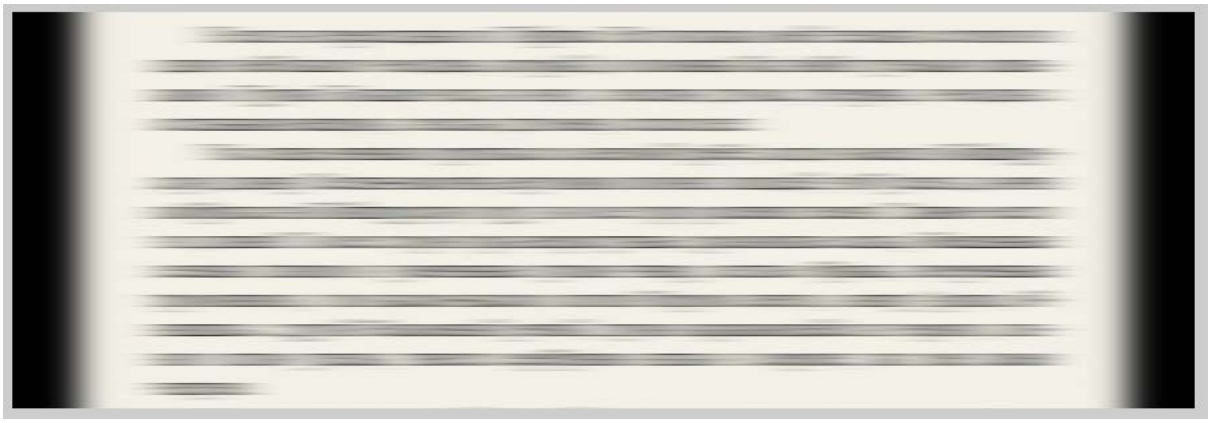
Рисунок 2 – Исходное изображение текста (а) и результат его размытия (б)

После проведения размытия, по краям изображения появились черные полосы, чтобы избежать их появления, к исходному изображению дополнительные пикселей слева и справа. Для дополнительных пикселей слева отобразим первые k элементов матрицы исходного изображения слева. Для дополнительных бит слева - последние k элементов каждой строки справа. Тогда $dim(I_{ij}) = M * (N + 2n)$, где M – высота изображения, а N – ширина. После размытия такого изображения черные полосы остаются, но они приходятся на дополнительные пиксели. После отбрасывания дополнительных пикселей, получаем корректное размытие.

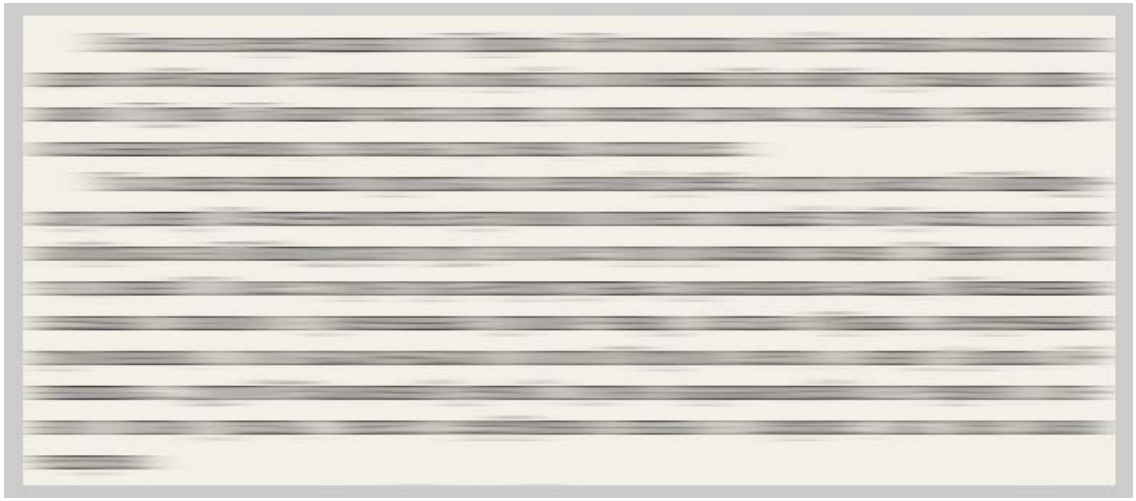

Я ехал на перекладных из Тифлиса. Вся поклажа моей тележки состояла из одного небольшого чемодана, который до половины был набит путевыми записками о Грузии. Большая часть из них, к счастию для вас, потеряна, а чемодан с остальными вещами, к счастью для меня, остался цел.

Уж солнце начинало прятаться за снеговой хребет, когда я въехал в Койшаурскую долину. Осетин-извозчик неутомимо погонял лошадей, чтоб успеть до ночи взобраться на Койшаурскую гору, и во все горло распевал песни. Славное место эта долина! Со всех сторон горы неприступные, красноватые скалы, обвешанные зеленым плющом и увенчанные купами чинар, желтые обрывы, исчерченные промоинами, а там высоко-высоко золотая бахрома снегов, а внизу Арагва, обнявшись с другой безыменной речкой, шумно вырывающейся из черного, полного мглою ущелья, тянется серебряною нитью и сверкает, как змея своею чешуею.

а



б



в

Рисунок 3 – Исходное изображение текста с дополнительными пикселями слева и справа (а), результат его размытия (б) и размытое изображение с отброшенными дополнительными пикселями

ВЫВОДЫ

Обоснована возможность использования операторов размытия изображения для маскирования служебной информации. Описан алгоритм восстановления информации на принимающей стороне. Приведены примеры размытия текстовых изображений.

Дальнейшие исследования будут связаны с реализацией приведенного алгоритма восстановления размытых изображений с использованием метода решения систем линейных алгебраических уравнений с теплицевой основной матрицей, а также реализацией итерационных алгоритмов восстановления размытых изображения и восстановления изображений с помощью фильтра Винера..

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков А. И., Пронькин А. В. Методы цифровой обработки изображений подстилающей поверхности. М.: Горячая линия-Телеком. 2023. 224 с.

2. Обработка изображений в авиционных системах технического зрения. Под. ред. А.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. М.: Физматлит. 2016. 238 с.

3. Кузнецова О.И. Применение мегастабильной системы с 2-D полосой скрытых аттракторов для обеспечения безопасной связи // Чебышевский сборник. 2023. Т. 24. Вып. 1. С. 89-103. DOI: 10.22405/2226-8383-2023-24-1-89-103.

4. Кузнецова О.И. Программа для шифрования информации с использованием мегастабильной системы с 2-D полосой скрытых аттракторов. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022666310, 30.08.22.

5. Волотов Е.М., Волотова Т.А., Митрофанов И.В., .Митрофанов Е.И. Модель погрешности определения параметров траектории при использовании системы регистрации на базе видеокамер общего назначения // Надежность и качество сложных систем. 2023, № 1. С. 29-37.

6. Комаров В.А., Сарафанов Ф.В. Повышение качества наземной экспериментальной отработки бортовой радиоэлектронной аппаратуры систем управления космических аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2022, № 3. С. 61-69.

7. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. - М.: Наука, 1986. – 288 с.

8. Новиков А.И., Шамин Н. О. Исследование регуляризационного метода восстановления размытых изображений // Вестник РГРТУ, № 72. С. 106-115.

9. Борисов В.В., Новиков А.И., Чураков Е.П. Применение факторного анализа для исследования послойных спектров // Электронное моделирование. 1994. Т. 16. №1. – 80-83.

10. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я., Тимонов А.А. Математические задачи компьютерной томографии. - М.: Наука, 1987. – 160 с.

11. Майорова В.И., Банников А.М., Зайцев К.И. Математическое моделирование процесса радиометрической коррекции снимков дистанционного зондирования Земли // Инженерный журнал: наука и инновации.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 20 с.

12. Гончарский А.В. Обратные задачи оптики // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 1986. №3. – С. 59-76

13. Воеводин В.В., Тыртышников Е.Е. Вычислительные процессы с теплицевыми матрицами. - М.: Наука, 1987. – 320 с.

14. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. - М.: Наука, 1966. – 664 с.

15. Икрамов Х.Д. Численные методы для симметричных линейных систем. - М.: Наука, 1988. – 160 с.

УДК 004.93.12

Заяра[1] А.В., Кондрашин[2] Н.А., Соловьев[3] А.В.
[1,2,3] Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа, Россия
[1] era_1@mil.ru

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ArUco-МАРКЕРА

Аннотация. Современные технологии искусственного интеллекта (ИИ) позволяют автономным транспортным системам функционировать почти без участия человека. Для подтверждения соответствия технологии искусственного интеллекта потребительским требованиям необходимо проводить испытания этих технологий. Рассматриваются предложения по организации испытаний технологии ИИ «Следуй за мной».

Разработана методика проведения испытаний алгоритма распознавания ArUco-маркера для определения его оптимального размера.

Предложенная методика по организации испытаний алгоритма распознавания ArUco-маркера обеспечивает его устойчивое распознавание в автономной системе управления транспортным средством.

Ключевые слова: технология «Следуй за мной», ArUco-маркер, экспериментальное исследование, испытательная попытка, оптимальный размер маркера, диапазон углов отклонения

Zayara[1] A.V., Kondrashin[2] N.A., Soloviev[3] A.V.
[1,2,3] Military Innovative Technopolis "ERA", Anapa, Russia
[1] era_1@mil.ru

SUGGESTIONS FOR THE ORGANIZATION OF TESTS OF THE ArUco MARKER RECOGNITION ALGORITHM

Annotation. Relevance and goals. Modern artificial intelligence technologies allow autonomous transport systems to function almost without human intervention. To confirm the compliance of AI technology with consumer requirements, it is necessary to conduct tests of these technologies. Proposals for the organization of tests of AI technology "Follow me" are being considered. Materials and methods. A methodology has been developed for testing the ArUco marker recognition algorithm to determine its optimal size. Results and conclusions. The proposed methodology for organizing tests of the ArUco marker recognition algorithm ensures its stable recognition in the autonomous vehicle control system.

Keywords: "Follow me" technology, ArUco marker, experimental study, exploratory attempt, optimal marker size, range of deviation angles

В современном мире технологии искусственного интеллекта (ИИ) играют важную роль в различных отраслях, включая транспортную индустрию, в которой он используется для улучшения безопасности и эффективности транспортных средств. Применение таких технологий уже охватило такую научно-промышленную область как автономные транспортные системы. С их помощью транспортные средства могут функционировать почти без участия человека. Технологии позволяют распознавать и анализировать окружающую среду, принимать решения и взаимодействовать с другими участниками движения [1].

В настоящее время технология ИИ «Следуй за мной» широко используется в управлении дронами. Однако, в некоторых случаях возникает необходимость применить ее к наземным робототехническим комплексам (РТК), например, для выполнения логистических задач на складах или доставке грузов по маршруту на пересеченной местности. В первом случае, информацию о необходимом маршруте, который должна реализовать автономная система управления, можно разместить в качестве указателей на складских стеллажах. В полевых условиях транспортный робот должен следовать за ведущим, по возможности повторяя его траекторию. Технология ИИ «Следуй за мной» является комплексной, состоящей из отдельных алгоритмов. С их помощью робот способен автоматически определить позицию ведущего оператора и повторить его движения. Это позволит эффективно выполнять задачи, требующие перемещения по незнакомой территории за оператором в режиме реального времени.

Если рассматривать технологию ИИ как совокупность продуктов, которая включает в себя математическое, алгоритмическое, программное и аппаратное решения, позволяющая получать результаты, сопоставимые по качеству результатам аналогичной деятельности человека или высшего животного. Другими словами, технология ИИ, в конечном счете, представляет собой программную продукцию, размещенную на каком-либо процессоре с сетью различных периферийных устройств. Следовательно, технология ИИ является результатом человеческого труда, а значит подтвердить ее соответствия потребительским требованиям возможно только в процессе испытаний системы ИИ [2].

Следует учитывать важную особенности технологии ИИ. Это касается ее комплексности. Совокупность технологических решений, которая обеспечивает получение результата, сопоставимого деятельности человека, можно представить в виде комплекса взаимосвязанных алгоритмов. Возвращаясь к технологии «Следуй за мной», ее структура поясняется схемой на рисунке 1.

Для организации испытаний каждого алгоритма из состава комплексной технологии, должен применяться свой оригинальный метод. В 2020 году Технический комитет по стандартизации ТК 141 «Робототехника» разработал национальный стандарт для испытаний телеуправляемых наземных роботов [3], основные положения которого с определенными допущениями предлагается использовать для оценки качества алгоритма распознавания *ArUco*-маркера. На основании его рекомендаций назначается метод испытаний, примерный состав оборудования, порядок проведения испытаний применительно к выбранному алгоритму.

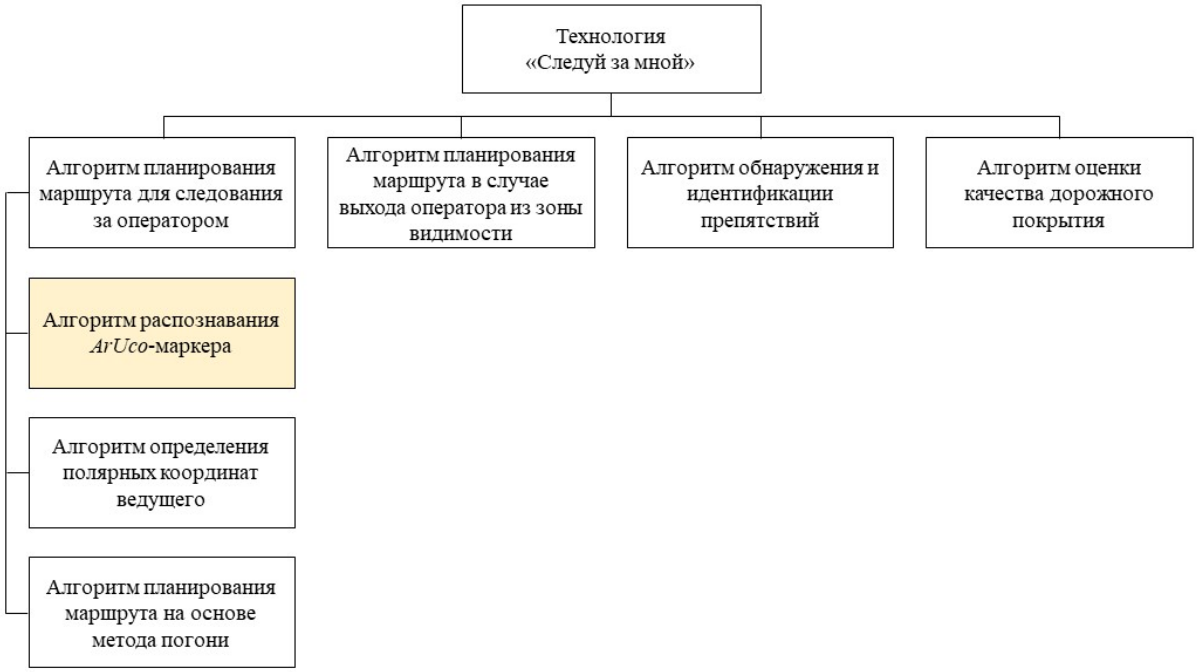


Рисунок 1 – Схема, поясняющая декомпозицию комплексной технологии «Следуй за мной»

Целью испытаний алгоритма распознавания *ArUco*-маркера является количественная оценка способности считывания системой управления РТК стандартных символов, дискретно уменьшающихся в размерах с заданных расстояний для измерения остроты зрения бортовой камеры. Для ее достижения следует использовать тестовые таблицы с машиночитаемыми символами или быстро считываемые коды. В качестве последних может применяться *ArUco*-маркер (рисунок 2), представляющий собой квадратную метку, состоящую из широкой черной границы и внутренней двоичной матрицы, которая определяет его идентификатор [4].

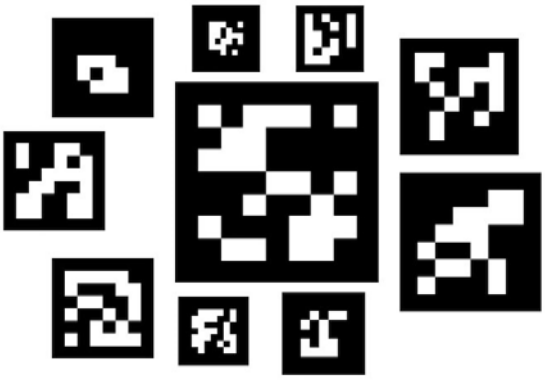


Рисунок 2 – Пример ArUco-маркеров



Рисунок 3 – Успешная идентификация ArUco-маркера

Для проведения испытаний в различных световых условиях применялся люксметр с диапазоном измерения от 0,01 до 1000 лк для определения освещенности.

Способность успешно считывать *ArUco*-маркеры требует разрешения, соответствующего размеру отдельных квадратов матрицы, размер которых является показателем остроты технического зрения. Другими измеряемыми параметрами являются углы отклонения плоскости, в которой находится *ArUco*-маркер, при которых РТК уже не способен его идентифицировать.

В начале определяется число требуемых попыток, обеспечивающее проведение успешных испытаний. Рекомендуется реализовать не менее 30 испытаний для оценивания способности распознавания. Приемлемый начальный порог задается, по крайней мере, как 80% надежности при 80% достоверности [3]. Это может быть достигнуто путем выполнения 30 попыток, из которых не менее 27 будут успешными. При подсчете результатов за успешно выполненную попытку засчитывается правильное считывание *ArUco*-маркера.

Испытательное оборудование должно быть настроено надлежащим образом, а условия внешней среды, в том числе освещенность, удовлетворяют необходимым требованиям. Конфигурация РТК и внешние условия должны оставаться неизменными на всех испытаниях, для того чтобы можно было проводить прямое сравнение характеристик.

Установив РТК на стартовую позицию, обеспечивающую заданное расстояние между комплексом и считываемым маркером, один из операторов, закрепляет *ArUco*-маркер на спине, а второй занимает удаленное рабочее место.

В процессе прохождения испытаний первый оператор поочередно осуществляет повороты в стороны (вращение вокруг оси аппликат) и наклон вперед (вращение вокруг оси ординат). Второй оператор для каждой испытательной попытки фиксирует факт распознавания маркера, а также углы, при которых алгоритм перестает распознавать маркер.

После выполнения необходимого числа испытательных попыток составляется отчетная таблица, отражающая уровень освещенности, при котором проводились испытания, факт распознавания маркера, углы поворота влево, вправо и угол наклона, при которых маркер был распознан. Качество распознавания рассчитывается как отношение числа удачных испытательных попыток к их общему числу.

Минимальный размер маркера для распознавания подтверждался экспериментально с расстояния 5 м и при различных показаниях освещенности. Также проводились исследования способов предотвращения деформации метки в процессе движения или поворота корпуса оператора. Матовый лист с изображением маркера закреплялся на плотном картоне. Второй вариант заключался в ламинированнии листа с *ArUco*-маркером.

Согласно предложенному порядку испытаний перед началом эксперимента измерялась освещенность.

Эксперимент проводился с *ArUco*-маркерами трех форматов: 110×110, 100×100, 90×90. Требовалось определить оптимальный размер *ArUco*-маркера для его устойчивого распознавания в полевых условиях.

Проведено пятьдесят испытательных попыток. Успешным считается испытание, в котором *ArUco*-маркер распознавался не менее, чем в сорока из пятидесяти случаев. Пример успешного распознавания приведен на рисунке 4.

Результаты, полученные по итогам проведенных испытаний при освещенности 200 лк (пасмурная погода), приведены в таблице 1 со следующими обозначениями:

МП – *ArUco*-маркер, напечатанный на матовой поверхности;

Л – ламинированный *ArUco*-маркер;

P_r – вероятность распознавания.

Результаты испытаний для освещенности 200 лк Таблица 1

Номер серии экспериментов	Размер					
	90×90		100×100		110×110	
	МП	Л	МП	Л	МП	Л
1	6/10	6/10	2/10	9/10	5/10	9/10
2	0/10	3/10	0/10	3/10	2/10	10/10
3	0/10	2/10	3/10	5/10	4/10	10/10
4	0/10	0/10	1/10	7/10	8/10	10/10
5	1/10	3/10	2/10	5/10	2/10	9/10
P_r	0,14	0,28	0,16	0,58	0,42	0,96

Экспериментально подтверждено, что оптимальный размер маркера с наибольшей вероятностью распознавания составляет 110×110 на ламинированной поверхности.

Следующим этапом было определение диапазонов углов отклонения корпуса оператора.

Экспериментально подтверждено, что алгоритм распознает метки при предельных искажениях, которые могут быть обусловлены динамикой корпуса человека в угловом выражении:

наклон корпуса вперед – до 5°;

повороты влево-вправо – до 25°.

Таким образом, по итогам экспериментальных исследований установлено, что тестируемый алгоритм удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям по распознаванию опознавательных меток в рамках использования технологии «Следуй за мной». Помимо выполнения основного условия испытаний получены следующие результаты:

подтверждены способности алгоритма и оборудования, на котором он размещен, распознавать *ArUco*-маркер на установленной техническими требованиями дистанции;

определены граничные значения углов поворота корпуса ведущего оператора, в пределах которых алгоритм функционирует корректно.

Методики тестовых проверок выполнены в полном соответствии рекомендациям национальных стандартов, что в полной мере подтверждает их валидность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Искусственный интеллект в транспорте: применение, перспективы и безопасность // URL: https://nauchniestati.ru/spravka/iskusstvennyj-intellekt (дата обращения: 29.03.2024).

2. ГОСТ Р 59276-2020 Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2021. с. 16.

3. ГОСТ Р 60.6.3.16-2020 Методы испытаний сервисных мобильных роботов для работы в экстремальных условиях датчики. Острота технического зрения – М.: Стандартинформ, 2021, С. 16.

4. Касоян К.Ф. Разработка системы распознавания маркеров дополненной реальности // URL: http://elar.urfu.ru/ bitstream/10995/78807/1/fti_2019_013.pdf (дата обращения: 29.03.2024).

УДК 681.2.082

Фролова[1] А.И., Баранов[2] В.А., Карпанин[3] О.В., Буренин[4] К.Р., Чихрина[5] У.С.
[1,2,3,4,5] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1] ang.frolova2016@gmail.com
[2] baranov_va2202@mail.ru
[3] karpaninov@gmail.com
[4] kirillburenin78@gmail.com
[5] chikhulyana@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АМБУЛАТОРНОГО МОНИТОРИНГА ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ

Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования вариантов конструкции диэлькометрического датчика внешнего дыхания, по результатам исследования определены требования к устройству для амбулаторного мониторинга внешнего дыхания.
Ключевые слова: амбулаторный мониторинг, внешнее дыхание, диэлькометрический датчик

Frolova[1] A.I., Baranov[2] V.A., Karpanin[3] O.V., Burenin[4] K.R., Chikhrina[5] U.S.
[1,2,3,4,5] Penza State University, Penza, Russia
[1] ang.frolova2016@gmail.com
[2] baranov_va2202@mail.ru
[3] karpaninov@gmail.com
[4] kirillburenin78@gmail.com
[5] chikhulyana@yandex.ru

STUDY OF DIELCOMETRIC SENSORS OF A DEVICE FOR OUTPATIENT MONITORING OF EXTERNAL RESPIRATORY

Annotation. The results of a comparative study of design options for a dielectric sensor of external respiration are presented; based on the results of the study, the requirements for a device for ambulatory monitoring of external respiration are determined.
Keywords: ambulatory monitoring, external respiration, dielectric sensor

Введение

Актуальной задачей медицинского приборостроения является разработка портативных средств измерений большого числа показателей состояния здоровья человека в процессе амбулаторного лечения [1]. Амбулаторный мониторинг внешнего дыхания требуется при лечении больных хронической обструктивной болезнью легких, больных инфекционными заболеваниями, в том числе, COVID-19 на дому, для выявления апноэ, т.е. остановки дыхания во сне, и других нарушений дыхательного ритма. Количественные показатели внешнего дыхания подразделяются на показатели ритмичности (частота дыхательных движений, длительности вдоха, выдоха и дыхательной паузы) и показатели интенсивности (жизненная емкость легких. пиковые объемные скорости вдоха и выдоха, минутный объем дыхания и др.). При амбулаторном мониторинге внешнего дыхания достаточно измерять только показатели ритмичности.



Рисунок 1 – Внешний вид диэлькометрического датчика на футболке

Важным этапом разработки устройства для амбулаторного мониторинга внешнего дыхания является выбор принципа измерения показателей ритмичности дыхания и разработка конструкции датчика, реализующего выбранный принцип измерения. Известны измерительные устройства, основанные на тензометрическом, ультразвуковом или акустическом датчике. Однако наиболее перспективным техническим решением представляется использование диэлькометрического датчика, формирующего измерительный сигнал, который несёт информацию о изменениях диэлектрической

проницаемости торса, обусловленных дыханием [2]. Диэлькометрический датчик внешнего дыхания представляет собой электрический конденсатор, одна обкладка которого располагается на груди в области диафрагмы, а вторая - на спине на том же уровне (рисунок 1). Датчик характеризуется малым весом и возможностью крепления на одежде без неудобств для пользователя. Электрической моделью диэлькометрического датчика является пассивный двухполюсник, образованный параллельно соединенными конденсатором с емкостью ***C*** и резистором с активным сопротивлением ***R***.

Анализ экспериментально определенных частотных характеристик емкости C и активного сопротивления R диэлькометрического датчика на основе хлопчатобумажной футболки, на которую наклеены обкладки из медной фольги, показал, что разность значений емкости ***C*** при вдохе и выдохе достаточна для измерений ритмических показателей внешнего дыхания при частоте синусоидального напряжения на датчике 1 кГц [2]. Однако в динамике, в режиме амбулаторного мониторинга, конструкция датчика на основе футболки не обеспечивает отсутствие изменяющегося зазора между торсом и обкладками конденсатора и постоянство формы обкладок.

Минимизацию влияния этих неинформативных факторов на измерительный сигнал обеспечивает конструкция диэлькометрического датчика на основе поясничного корсета полужесткой фиксации, имеющего три кармана, в которых располагаются обкладки конденсатора овальной формы с размером 130 мм на 80 мм, изготовленные из фольгированного стеклотекстолита (рисунок 2). Задняя обкладка конденсатора разделена на две части, которые устанавливаются на пояснице слева и справа от позвоночника, что повышает чувствительность датчика.

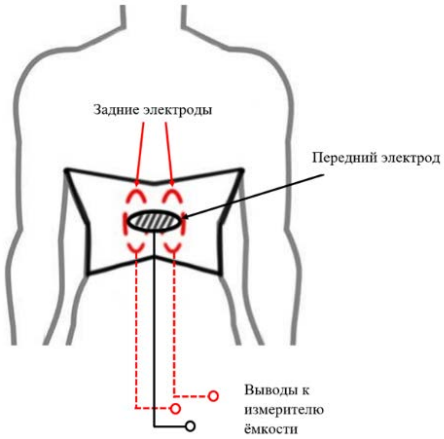


Рисунок 2 - Внешний вид диэлькометрического датчика на основе корсета

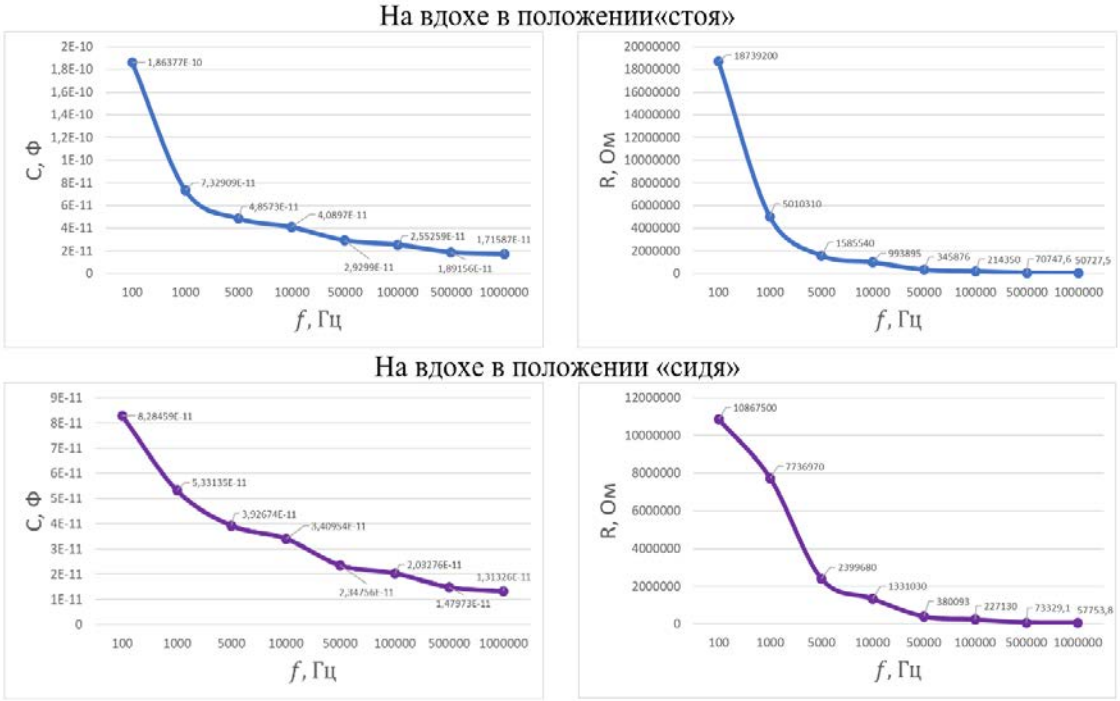


Рисунок 3 - Графики частотных характеристик диэлькометрического датчика на основе футболки в положениях «стоя» и «сидя» при вдохе

Измерения емкости **C** конденсатора и активного сопротивления **R** резистора параллельной электрической модели торса проведены прецизионным **RLC**-метром E4980A фирмы **Keysight Technologies** на частотах 100 Гц, 1 кГц, 5 кГц, 10 кГц, 50 кГц, 100 кГц, 500 кГц и 1 МГц.

Полученные экспериментально частотные характеристики электрической емкости *C* и активного сопротивления ***R*** образцов обоих вариантов конструкции диэлькометрического датчика внешнего дыхания на вдохе и выдохе в положении «стоя» и «сидя» представлены, соответственно, на рисунках 3, 4, **5** и 6.

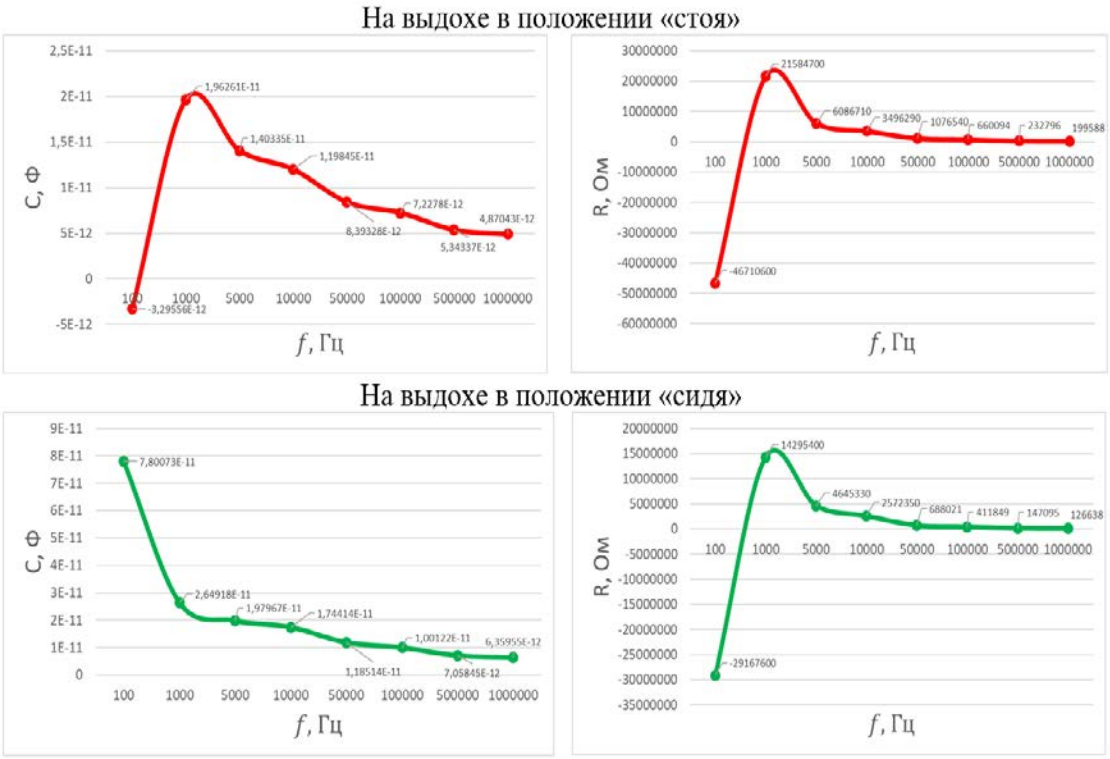


Рисунок 4 – Графики частотных характеристик диэлькометрического датчика на основе футболки в положениях «стоя» и «сидя» при выдохе

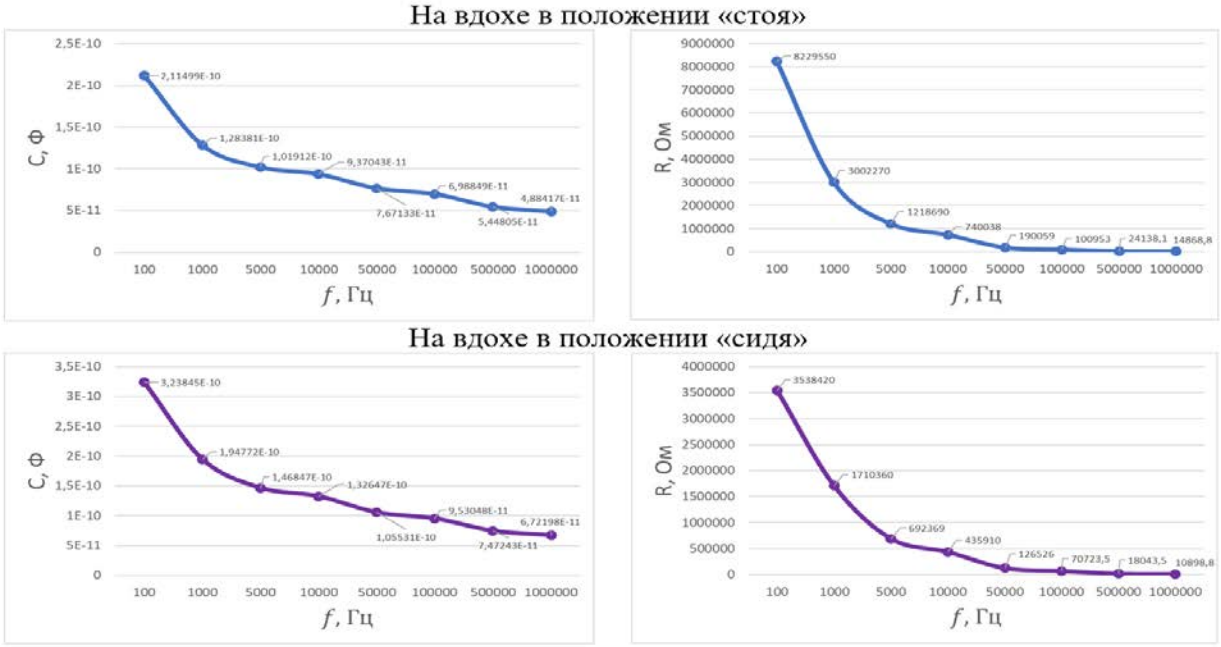
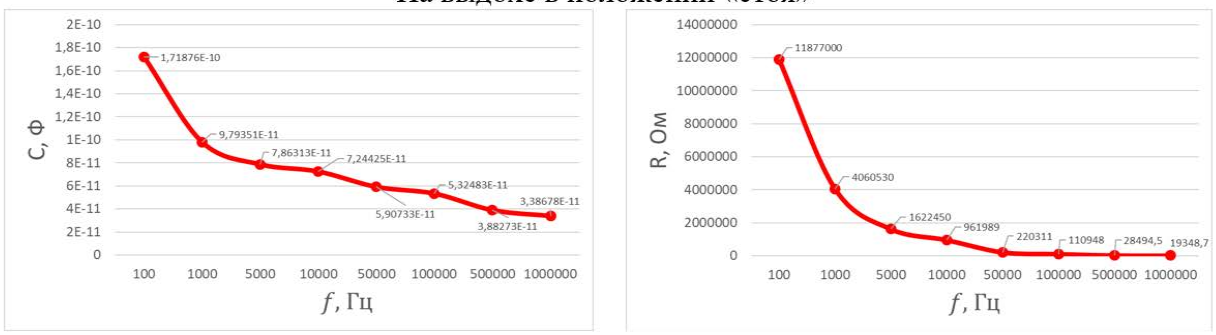


Рисунок 5 – Графики частотных характеристик диэлькометрического датчика на основе корсета в положениях «стоя» и «сидя» при вдохе

На выдохе в положении «стоя»



На выдохе в положении «сидя»

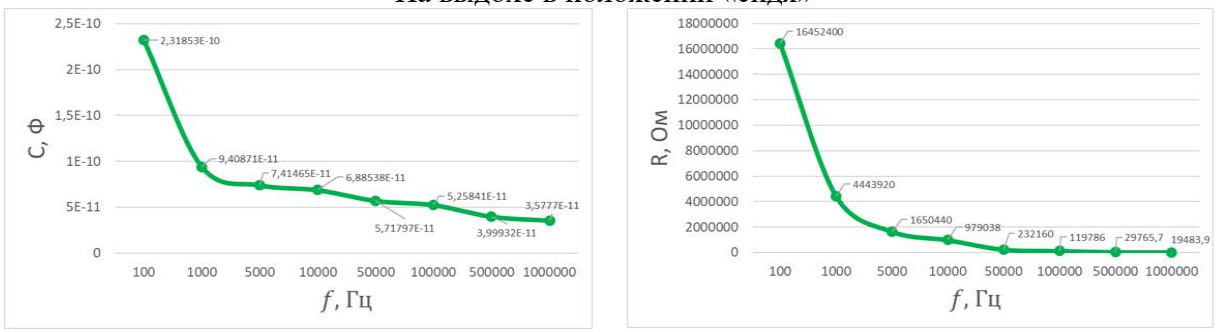


Рисунок 6 – Графики частотных характеристик диэлькометрического датчика на основе корсета в положениях «стоя» и «сидя» при выдохе

Заключение

По результатам проведенных измерений можно сделать следующие выводы:

Оба варианта конструкции диэлькометрического датчика позволяют достоверно различать фазы вдоха и выдоха внешнего дыхания в состоянии покоя в положениях «стоя» и «сидя». У датчика на основе футболки при измерениях в нижней части частотного диапазона активное сопротивление в некоторых случаях приобретает отрицательные значения, что связано с формированием на ткани футболки статических зарядов из-за трения. В связи с этим измерения параметров диэлькометрического датчика следует проводить при частоте синусоидального напряжения питания датчика не менее 1 кГц.

Значения активного сопротивления в информативном диапазоне частот для обоих вариантов конструкции датчика превышает 1 МОм, что может вызвать недопустимо большую погрешность согласования датчика с вторичным измерительным преобразователем. В связи с этим в качестве информативного параметра датчика целесообразно использовать электрическую емкость. Разность значений емкости на оптимальной частоте 1 кГц на вдохе и выдохе для датчика на основе футболки составила 25-30 пФ при синфазной составляющей сигнала 30-50 пФ, а для датчика на основе корсета, соответственно, 50-100 пФ при синфазной составляющей сигнала 100-120 пФ.

Окончательный выбор между вариантами конструкции диэлькометрического датчика будет сделан после разработки измерительного преобразователя «емкость – код», инвариантного относительно активного сопротивления датчика на основе технических решений, описанных в [3, 4], что позволит провести испытания измерительного устройства в режиме амбулаторного мониторинга внешнего дыхания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неинвазивные методы и средства измерений показателей системной гемодинамики для амбулаторного мониторинга / О. А. Тимохина, В. А. Баранов, М. И. Сафронов // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2019. - Т. 2. - С. 225-227.

2. Амбулаторный мониторинг внешнего дыхания диэлькометрическим методом / Баранов В.А., Фролова А.И., Бержинская М.В. // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». - 2023. - Т. 1. - С. 427 - 429.

3. Анализ и совершенствование схем Сойера - Тауэра / А. Е. Журина, Е. А. Печерская, А. В. Фимин // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2022. - Т. 1. - С. 29-30.

4. Автоматизированные измерения параметров активных диэлектриков / Е. А. Печерская, А. М. Метальников, О. В. Карпанин, И. М. Гладков // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2013. - Т. 2. - С. 95-97.

УДК 681.2.082

Романов А.М.
Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
kipra@pnzgu.ru

НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ

Аннотация. В данной статье рассмотрены общие принципы надежности электронных компонентов и виды испытаний радиоэлектронных средств.
Ключевые слова: надежность, неработоспособность, испытания, анализ

Romanov A.M.
Penza State University, Penza, Russia
kipra@pnzgu.ru

RELIABILITY OF ELECTRONIC COMPONENTS

Annotation. In given article the general principles of reliability of electronic components and kinds of tests radio-electronic means are considered.
Keywords: reliability, not working capacity, tests, the analysis

Введение

С развитием технологий и увеличением числа электронных устройств в повседневной жизни, надежность электронных блоков становится все более важной. Исследование надежности электронных блоков в современности включает в себя ряд аспектов:

1. Использование надежных компонентов и материалов.

Один из ключевых факторов надежности электронных устройств - это качество используемых компонентов. Надежные производители компонентов и строгие контрольные процессы играют важную роль в обеспечении долговечности устройств.

2. Тестирование и калибровка.

Проведение различных видов тестов на прочность, стабильность и долговечность устройств позволяет выявить возможные проблемы и улучшить качество продукции. Калибровка систем также играет важную роль в обеспечении стабильной работы устройств.

3. Проектирование устройств с учетом надежности.

От начального этапа проектирования устройств необходимо учитывать факторы, которые могут повлиять на их надежность. Это включает в себя выбор правильной архитектуры, учет тепловых и электромагнитных характеристик, а также заложение запаса прочности.

4. Работа с данными и обновлениями.

Важным аспектом надежности электронных блоков является работа с данными и их обновлениями. Обеспечение безопасности и целостности данных, а также регулярное обновление программного обеспечения являются необходимыми для поддержания стабильной работы устройств. Исследование надежности электронных блоков в современности является актуальной темой, которая требует постоянного внимания и развития. Только постоянное совершенствование и усовершенствование технологий позволит создавать все более надежные и долговечные электронные устройства.

Для достижения высокой надежности электронных систем необходимо использовать специальные компоненты и методы проектирования, которые учитывают конечные условия эксплуатации оборудования. Несмотря на то, что в настоящее время уделяется большое внимание контролю качества электроники, все еще имеют место отказы отдельных компонентов или целых систем. К сожалению, причину отказа не всегда удается выявить. Отказ компонента означает, что он не функционирует должным образом или его характеристики, не соответствуют техническим требованиям. Это может быть вызвано различными причинами, такими как перегрузки по току или напряжению, чрезмерное нагревание, воздействие агрессивных химических веществ, повышенная влажность и другие условия, которые возникают в процессе производства и эксплуатации оборудования.

Постоянно возрастающая сложность компонентов электронного оборудования и потребность в портативных устройствах с низким энергопотреблением, способных работать в экстремальных условиях, являются главными причинами, побуждающими разработчиков создавать новые высоконадежные устройства. Ключевым моментом для достижения повышенной надежности даже в самых суровых условиях является использование специального оборудования и программного обеспечения, основанных на защищенной от ошибок философии проектирования. Подробное изучение различных типов отказов и превентивных методов проектирования, которые позволяют их предотвращать, поможет разработчикам существенно повысить надежность оборудования.

Идентификация сущности и механизма отказа

Некоторые отказы могут вызвать заметные изменения в компоненте, что делает их легко обнаружимыми, например, аномальное ухудшение параметров или потеря функциональности устройства. Однако скрытые поломки могут быть еще более опасными, так как их сложно выявить на ранних этапах эксплуатации, и они могут привести к серьезным отказам оборудования.

Понимание физической природы отказов поможет объяснить выход из строя полупроводниковых устройств. Модель на рисунке 1 описывает характер отказов электронных и механических компонентов.

На начальном этапе эксплуатации поломки могут быть вызваны производственными дефектами, ошибками в проектировании, использованием компонентов низкого качества или

дефектными деталями, не обнаруженными при входном контроле. Продолжительность жизненного цикла электронных компонентов соотносится с механическими деталями, и по истечении этого периода большинство проектов устаревает. Отказы в этот период могут быть вызваны высокой температурой, влажностью, перегрузками током и напряжением, вибрацией, а также тепловыми и механическими воздействиями.

Старение компонентов часто приводит к дальнейшим поломкам, таким как коррозия, электрические утечки, пробои изоляции, перемещение металлических ионов под воздействием электрического поля и разрушение материалов и проводников. Механические компоненты, например разъемы, могут выйти из строя из-за износа контактов и увеличения их сопротивления.

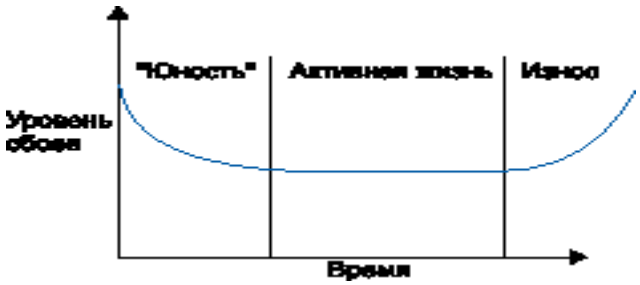


Рисунок 1 - зависимость интенсивности отказов электроники от времени

Все виды электронных систем используют активные и пассивные компоненты, а также электромеханические детали, например - реле, разъемы и кабели. Причины отказов различных типов компонентов отличаются, поэтому важно знать их общие факторы для предотвращения проблем. Среди основных причин выхода из строя электронного оборудования часто встречаются: электрические перегрузки (EOS), электростатические разряды (ESD), электромагнитные помехи (EMI) и тепловые удары. Каждая из этих причин требует особого внимания и обсуждения. Общие методы повышение надежности РЭС на стадии проектирования, производства и эксплуатации. Надежность, которую РЭС показывает в процессе эксплуатации, называют эксплуатационной надежностью. Все методы повышения надежности РЭС можно условно разбить на две группы методов: схемотехнические и конструкторско-технологические.

Основными методами, обеспечивающими требования к показателям надежности на этапе проектирования, являются следующие: Разработка электрических схем с соблюдением всех стандартов; Правильность конструкторского исполнения РЭА и компоновки ЭКБ; Выбор надежных элементов с точки зрения их устойчивости и стойкости к внешне воздействующим факторам. Очень важно обеспечить запасы по температуре, уровню механического воздействия и т.д.;

Использование резервирования. Используется как крайняя мера, ибо наряду с повышением надежности ухудшаются другие характеристики (габариты, масса, стоимость).

Производственные испытания как основное направление повышения надежности РЭС.

Одним из направлений повышения надежности изделия являются испытания. Проведение испытаний и осуществление экспериментальной отработки изделий – это один из важнейших этапов процесса создания конкурентоспособных технических систем с высокой степенью надежности. В первую очередь это касается радиоэлектронной аппаратуры и бортовых приборов. Испытания – это экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействий на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействия.

Цели испытаний всегда различаются для разных этапов проектирования и изготовления изделия. В обобщенном виде целью экспериментальной отработки изделия является подтверждение, что состояние изделия в сборе, полностью удовлетворяет требования технического задания. Проведение испытаний не только конечное звено изготовления изделия, их проводят на всех этапах проектирования.

Основные виды испытаний продукции:

приемочные испытания опытных образцов проводят с целью решения вопроса о целесообразности постановки на производство;

квалификационные испытания проводятся с целью оценки готовности предприятия к выпуску продукции данного типа в заданном объеме;

на стадии производства продукции проводятся различные контрольные испытания (приемосдаточные, периодические, типовые, сертификационные и др.) с целью оценки технического уровня и качества изготовленной продукции;

на стадии эксплуатации продукции проводятся эксплуатационные испытания (опытная эксплуатация, подконтрольная эксплуатация) с целью оценки действительных значений показателей качества продукции в реальных условиях ее применения.

Такой вид испытаний как испытание на надежность предусматривает определение значений показателей свойств безотказности, долговечности, ремонтопригодности, сохраняемость и транспортабельности и может проводится как отдельный вид или в рамках каких-либо испытаний, например, квалификационных.

Испытания на надежность предназначены для получения информации о надежности с учетом комплексного влияния всех действующих при эксплуатации факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков С.М. - Надежность радиоэлектронных средств;
2. В.Писарев, М. Критенко, В. Постнов – Система испытаний- основа обеспечения надежности РЭА№
3. В.А. Харченко – Проблемы надежности электронных компонентов.

УДК 621.396.218

Раймбеков[1] Ж.Е., Шарков[2] В.В., Артомонов[3] Д.С., Камышов[4] Г.А., Логинова[5] Л.В., Рыбаков[6] И.М.

[1,2,3,4,5,6] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ ПО GSM КАНАЛУ

Аннотация. В настоящее время с расширением рабочих границ мобильных телекоммуникаций данные и всевозможная информация могут передаваться через GSM-модули, которые становятся все более популярными. Такой способ передачи обеспечивает удобство и оперативность при передаче информации. Ультразвуковые приемопередатчики используются в качестве ультразвуковых датчиков. Принцип работы ультразвуковых датчиков расстояния основан на распространении ультразвуковых импульсов и измерении времени задержки импульсов, отраженных от объекта. Управление работой ультразвукового датчика, преобразование времени задержки сигнала в расстояние и формирование данных для подачи на входы SIM-модуля осуществляются с помощью перепрограммируемого микроконтроллера PIC16F628A.

Ключевые слова: управление, контроль, надежность, GSM - модуль, передача данных

Raimbekov[1] J.E., Sharkov[2] V.V., Artomonov[3] D.S., Kamyshov[4] G.A., Loginov[5] L.V., Rybakov[6] I.M.

[1,2,3,4,5,6] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

RELIABILITY ASSESSMENT FOR DATA TRANSMISSION OVER THE GSM CHANNEL

Annotation. Currently, with the expansion of the working boundaries of mobile telecommunications, data and all kinds of information can be transmitted through GSM modules, which are becoming more and more popular. This method of transmission provides convenience and efficiency in the transmission of information. Ultrasonic transceivers are used as ultrasonic sensors. The principle of operation of ultrasonic distance sensors is based on the propagation of ultrasonic pulses and the measurement of the delay time of pulses reflected from the object. The operation of the ultrasonic sensor, the conversion of the signal delay time into distance and the formation of data for feeding to the inputs of the SIM module is carried out using a reprogrammable PIC16F628A microcontroller.

Keywords: management, control, reliability, GSM module, data transmission

Введение

Модуль SIM (Groupe Spécial Mobile, позднее переименован в Global System or Mobile Communications) - это глобальный стандарт цифровой мобильной связи с временным и частотным разделением каналов, разработанный Европейской организацией по стандартизации в области телекоммуникаций в конце 80-х гг. [1].

Стандарт прошел несколько этапов развития: GSM 1982-1990; первая коммерческая сеть была запущена в январе 1992 года. Стандартная скорость передачи цифровых данных до 9,6 Кбит/с; больше не используется; в 1995 году стал цифровым стандартом, поддерживающим скорость передачи данных до 9,6 Кбит/с, включая диапазон 1900 МГц. Разработка второй фазы GSM, "PHASE 2", была завершена в 1997 году.

Следующий этап развития сети GSM "PHASE 2+" не привязан к конкретному году внедрения. Новые услуги и функции будут стандартизированы и внедрены после подготовки и утверждения технического описания. В рамках Фазы 2+ будут поддерживаться следующие услуги:

Пакетная передача и передача данных, голосовая информация, определение и ограничение номера, передача SMS, конференц-связь, ожидание и удержание вызова, блокировка номеров (черный список), голосовая почта и т. д.

В России для мобильной телефонии выделены частоты стандартов GSM-900 и GSM-1800 МГц: Для GSM-900 выделены частоты 890-915 МГц для передачи данных от клиента к базовой станции и 935-960 МГц для передачи данных от базовой станции к клиенту. Разброс частот составляет 40-50 МГц; в GSM 1710-1785 МГц выделено для передачи данных от клиента к клиенту и 1805-1880 МГц для передачи данных от базовой станции к клиенту. Основные характеристики GSM приведены в таблицах 1 - 2.

Диапазон GSM 900/1800 — Таблица 1

Характеристики	GSM-900	GSM-1800
Частоты передачи ЦК и приема БЗ, МГц	890-915	1710-1785
Частоты приема ЦК и передачи БЗ, МГц	935-960	1805-1880
Дуплексный разнос частот приема и передачи, МГц	45	95
Ширина полосы канала связи, кГц	200	200

Диапазон GSM 850/1900 — Таблица 2

Характеристики	GSM-900	GSM-1900
Частоты передачи ЦК и приема БЗ, МГц	824-849	1850-1910
Частоты приема ЦК и передачи БЗ, МГц	869-894	1930-1990
Дуплексный разнос частот приема и передачи, МГц	45	85

В GSM используется временное распределение канала TDMA.

Это когда в одном частотном канале находятся несколько пользователей, они разделены каждым своим временем для передачи данных

Структура сети GSM приведена на рисунке 1.

GSM состоит из трёх подсистем:

Подсистема базовых станций

подсистема коммутации

центр технического обслуживания

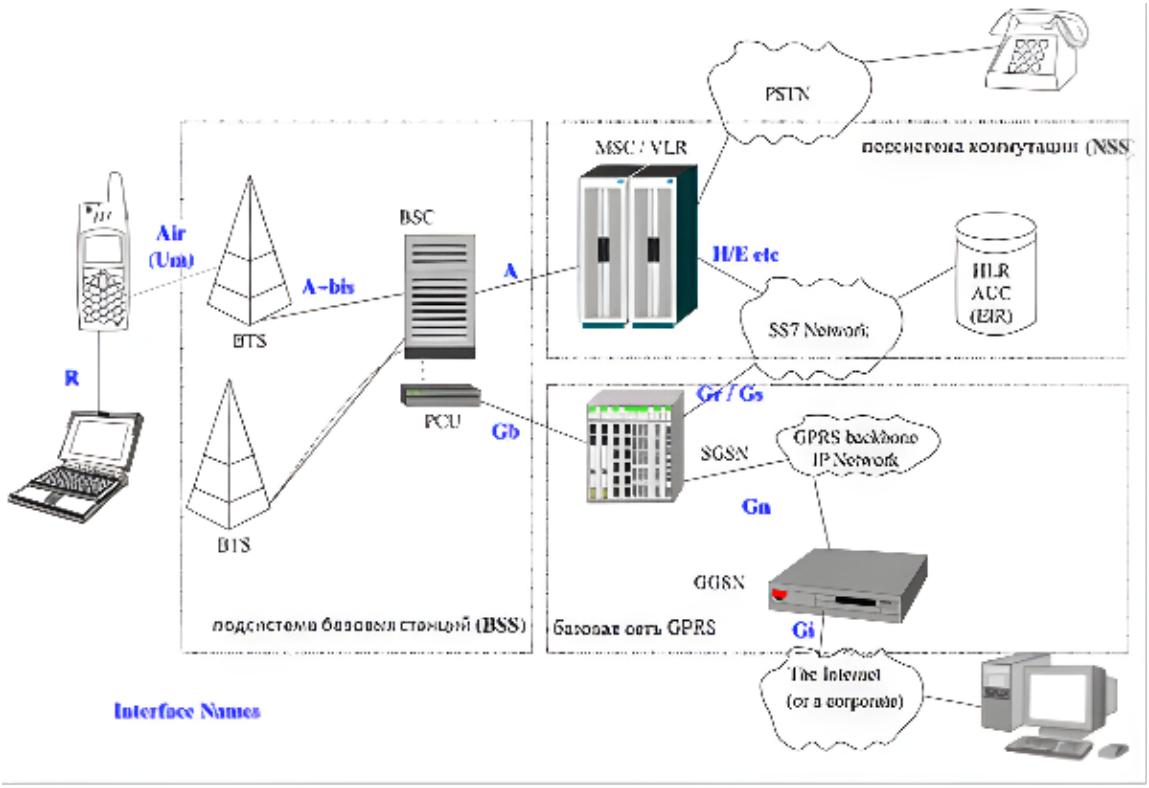


Рисунок 1 - Структурная схема сети GSM

Подсистема базовых станций

PBS состоит из базовой станции (BTS: Base Transceiver Station) и контроллера базовой станции (BSC: Base Station Controller). Каждая сота покрывается одной BTS, и соты частично перекрывают друг друга. Это сохраняет возможность передачи услуг без отключения при перемещении MS из одной ячейки в другую (передача услуг от одной базовой станции (BTS) к другой, когда мобильный телефон (MS) находится вне зоны действия текущей базовой станции во время разговора или GPRS-сессии). Этот процесс называется "перенос") [2].

Подсистема коммутации

Центры мобильной коммутации (MSC) управляют определенными географическими зонами, в которых расположены BTS и BSC; осуществляют взаимодействие с абонентами в сети GSM; обеспечивают интерфейс между GSM и ТфОП, другими беспроводными сетями связи и сетями передачи данных, а также интерфейсы между GSM и ТфОП, другими беспроводными сетями связи и сетями передачи данных. Он также выполняет переадресацию вызовов, управление вызовами и передачу услуг хэндовера при переходе MS из одной соты в другую. После завершения вызова MSC обрабатывает данные вызова и отправляет их в биллинговый центр для выставления счета за предоставленные услуги и сбора статистических данных; MSC также постоянно отслеживает местоположение MS, используя данные из HLR и VLR, что позволяет быстро определить его местоположение и установить соединение с ним.

Центр эксплуатации и обслуживания. Подключен к остальной части сети и обеспечивает контроль качества и управление всей сетью. Обрабатывает сигналы тревоги, требующие вмешательства персонала. Обеспечивает проверку состояния сети и отслеживание вызовов. Выполняет обновление программного обеспечения для всех элементов сети. [2].

Устройство модуля SIM900

Беспроводной модуль передачи данных SIM900, разработанный компанией SIMsom, используется для создания устройств передачи данных по каналам GSM. Этот беспроводной модуль используется для передачи и приема данных в области мобильных операторов, таких как МТС, Мегафон и Билайн. В настоящее время разрабатывается все большее количество SIM-модулей, в том числе SIM-модули со встроенным GPS-

приемником. Для отладки программ были разработаны специальные отладочные модули для определенных типов SIM-модулей: Модуль SIM 900 относится к простейшим модулям этого класса. Перед сборкой схемы она отлаживается в отладочном модуле, который содержит сам модуль и интерфейс для подключения к компьютеру или другому устройству.

Технические характеристики SIM900 [3]:

GSM-GPRS диапазон рабочих частот 850/900/1900 МГц.

Совместимость со стандартами GSM Phase 2/2+.

Выходная мощность в стандарте GSM 850/900 - 2 Вт.

Выходная мощность в стандарте DCS 1800/PCS 1900 - 1 Вт.

Управляется с помощью АТ-команды.

Напряжение питания - 3,2. .4,8 В.

Диапазон рабочих температур - от 30 до +80°С.

Габариты - 24x24x3 мм.

Вес - 6,2 г.

Скорости передачи данных

Пакетная передача данных GPRS: до 85,6 Кбит/с (входящий трафик), до 42,8 Кбит/с (исходящий трафик).

Передача данных GSM: До 14,4 Кбит/с.

Используемые аудиокодеки: HR, FR, EFR, AMR.

Функция эхоподавления.

Внешние интерфейсы - UART, Sim Card, GPIO, I2C.

Часы реального времени.

Встроенный стек TCP/IP и UDP/IP.

Прошивка, поддерживающая встроенную технологию АТ, позволяет записывать в память модуля и выполнять пользовательский код, написанный на языке С. В некоторых случаях от использования внешнего микроконтроллера можно отказаться. Схема расположения выводов SIM900 показана на рисунке 2.

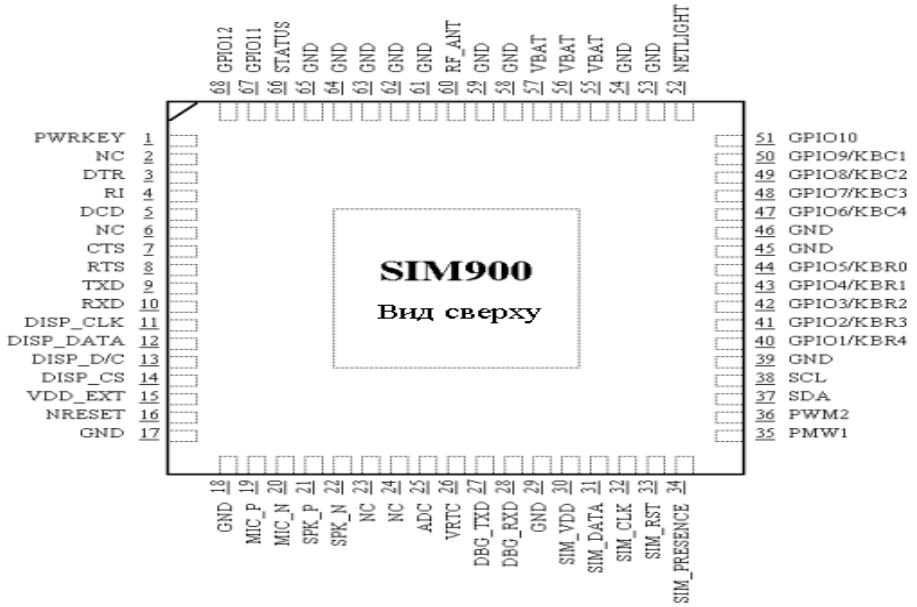


Рисунок 2 - Расположение контактов модуля SIM900

Нумерация контактов SIM900 на языке оригинала приводится в таблице 3.

Для дальнейшей работы с SIM-модулем необходимо описать используемые в разработке распиновки:

VBAT - напряжение питания.

VRTC - питание часов реального времени.

GND - заземление.

POWER_ON - POWER_OFF - включение/выключение питания (переключатель должен быть нажат в течение не менее 64 мс для включения и 500 мс для выключения).

MIC1P/MIC1N - дифференциальные аудиовходы.

SPK_P, SPK_N - дифференциальные аудиовыходы.

SIM_VDD - напряжение питания для SIM-карты, поддерживается 1,8 В или 3 В.

SIM_DATA - выход/вход данных SIM.

SIM_CLK - тактовый генератор SIM-карты. _RESET - сброс.

SIM_PRESENCE - обнаружение SIM-карты.

RXD - Прием данных.

TXD - Передача данных.

RTS - Сигнал запроса отправки.

CTS - Очистка памяти для передачи данных.

Нумерация контактов на языке оригинала Таблица 3

1	PWRKEY	41	GPIO1/KBR3
2	NC	42	GPIO1/KBR2
3	DTR	43	GPIO1/KBR1
4	RI	44	GPIO1/KBR0
5	DCD	45	GND
6	NC	46	GND
7	CTS	47	GPIO1/KBC4
8	RTS	48	GPIO1/KBC3
9	TXD	49	GPIO1/KBC2
10	RXD	50	GPIO1/KBC1
11	DISP_CLK	51	GPIO10
12	DISP_DATA	52	NETLIGHT
13	DISP_D/C	53	GND
14	DISP_CS	54	GND
15	VDD_EXT	55	VBAT
16	NRESET	56	VBAT
17	GND	57	VBAT
18	GND	58	GND
19	MIC_P	59	GND
20	MIC_N	60	RF_ANT
21	SPK_P	61	GND
22	SPK_N	62	GND
23	NC	63	GND
24	NC	64	GND
25	ADC	65	GND
26	VRTC	66	STATUS
27	DBG_TXD	67	GPIO11
28	DBG_RXD	68	GPIO12
29	GND		
30	SIM_VDD		
31	SIM_DATA		
32	SIM_CLK		
33	SIM_RST		
34	SIM_PRESENCE		
35	PMW1		
36	PWM2		
37	SDA		
38	SCL		
39	GND		
40	GPIO1/KBR4		

RI - Индикация вызова.
DCD - обнаружение несущей.
DBG_TXD, DBG_RXD - Используются для отладки и обновления прошивки.
NRESET - Сброс системы.
RF_ANT - Основная антенна.
PWM1, PWM2 - Должны быть включены, если не используются модулем.
NC - Выход дисплея без подключения.
ADC - Вход аналого-цифрового преобразователя 0-2,8 В.
SDA - вход данных для подключения интерфейса I2C.
SCL - для синхронного подключения интерфейса I2C.
DISP - интерфейс для подключения дисплея.
GPIO/KBR - контакты ввода/вывода, контакты для ключей.
STATUS - Состояние источника питания.
NETLIGHT - Состояние сети.
PWRKEY - Кнопка для включения питания.

Отправка сообщений с помощью AT-команд AT-команды были разработаны компанией Hayes в 70-х годах; с помощью AT-команд приложение и модем обмениваются и обрабатывают события сервисов SIMCOM и WAVECOM GSM. Чтобы модем мог распознать эти команды, они должны быть написаны на языке, который понимает модуль. Каждая команда всегда начинается с AT или at, поддерживается одной или несколькими командами и завершается нажатием клавиши Enter. Команды обычно передаются модему через коммуникационное программное обеспечение. В данном случае программа отправляется с микроконтроллера PIC16F628A, но также может быть введена вручную с компьютера.

Этот набор команд и архитектура оказались очень удачными и были многократно расширены и усовершенствованы; ETSI опубликовала ряд стандартов, описывающих управление мобильными телефонами и модемами GSM, включая GSM 07.05 и GSM0 7.07. Некоторые производители телекоммуникационного оборудования дополняют стандартный набор AT-команд своими собственными расширениями; см. примеры AT-команд. Все команды передаются на радиомодуль с помощью программы COM Port Toolkit 4.0. Для этого необходимо настроить COM-порт на компьютере. Программа изменяет настройки радиомодуля SIM900.

Настройки подключения

Скорость: По умолчанию 9600 бит/с для модуля SIM900. Биты данных: 8. Четность: нет. Стоп-бит: 1. Управление потоком: нет.

На рисунке 3 приведен скриншот настройки компьютера для регистрации связи с модулем.

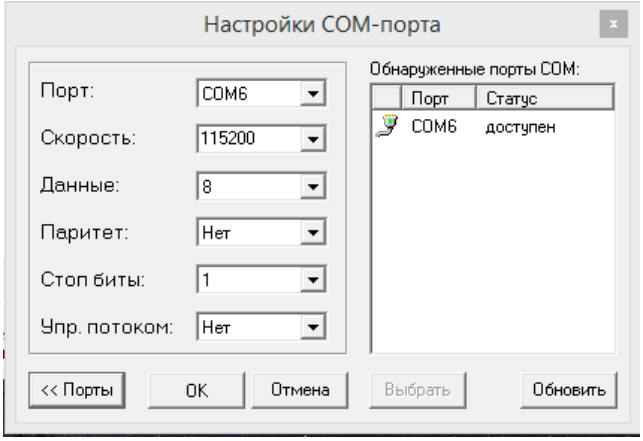


Рисунок 3 Скриншот настройки соединения на программе COM PORT Toolkit 4.0

Модуль взаимодействует с компьютером с помощью AT-команд. Большинство команд работают в трех режимах: тест, чтение и запись.

В тестовом режиме возвращается OK, если команда поддерживается или если параметры команды имеют возможные значения данных. Тестовый режим обозначается символом '=?' в конце команды. в конце команды.

В режиме чтения возвращается текущее значение параметра, но, в отличие от тестового режима, команда не возвращает простое '?

В режиме записи новое значение параметра отображается после знака '='.

Количество параметров в режиме чтения и записи не обязательно должно совпадать.

Рассмотрим команду AT, используемую в данном исследовании:

Включение и выключение режима ATE0 (режим эхо):

- 0, Off.
- 1, Включен. Значение по умолчанию всегда 1.
- ATH0 - отключить все соединения. Значения находятся в диапазоне 0-5 и указывают, какой тип соединения необходимо отключить.

Отправить SMS+CMGF - формат сообщения.

- 0, - Режим PDU, управляемый кодом команды; вывод сообщения в HEX-коде. Этот режим используется по умолчанию.
- 1, - Текстовый режим. Команды являются текстовыми. Сообщение выводится в текстовом формате.

Работа в режиме SMS+CMGS="XXXXXXXXXXXXXXX" - SMS отправляется также в зависимости от AT+CMGF. После ввода команды отображается приглашение ">", затем можно ввести текст сообщения; для выхода нажмите ESC или Ctrl-Z.

Запрос можно сделать двумя способами: . С помощью специальных команд: +CUSD=1, "#100#". - Режим обработки ответа. - Выполнить запрос и проигнорировать полученный ответ. - Выполнить запрос и вернуть ответ на терминал. - Отмена операции.

Набирается команда "#100#", а затем само сообщение. Передается только содержимое в скобках.

Второй метод выглядит как обычная операция набора номера. Результат всегда отправляется обратно на терминал. Однако он работает не во всех версиях прошивки. #100#;

Ответное сообщение отправляется с сообщением +CUSD:

Результат: Учитывая технические характеристики GSM-модуля SIM900, обмен данными между GSM-модулем и компьютером с помощью AT-команд происходил через COM-порт (RS-232).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системный подход к классификации беспилотных летательных аппаратов / Н. Д. Кошелев, А. Г. Избасов, Н. А. Кузин [и др.] // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. - Т. 1. - С. 103-108. - EDN SPQCYL.

2. Половов, С. А. Анализ свойств хромоникелевых тонких пленок, полученных методом магнетронного распыления / С. А. Половов, В. А. Соловьев // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. - Т. 2. - С. 131-138. - EDN EBNGAS.

3. Белоусов, И. В. Критерий оптимальной широтно-импульсной модуляции в системе преобразователь - двигатель / И. В. Белоусов, В. Ф. Самосейко, А. В. Саушев // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2022. - Т. 1. - С. 34-36. - EDN SJFRJH.

4. Листюхин, В. А. Эксплуатационные особенности воздушных линий электропередачи / В. А. Листюхин, Е. А. Печерская, П. Е. Голубков // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2022. - Т. 2. - С. 155-156. - EDN HDKCKT.

УДК 623.4

Павлюченко[1] А.Н., Вансович[2] Е.Н., Громов[3] А.А., Годунов[4] А.И.

[1,2] 27 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия

[3] Филиал Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева в г. Пензе, Пенза, Россия

[4] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] darkzgrom@gmail.com

[4] godunov@pnzgu.ru

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ И НАПРЯЖЕНИЙ С ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ В ЗАДАЧЕ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ

Аннотация. Проведено исследование, охватывающее внутреннее баллистическое решение выстрела ствола калибра 7,62 мм. Трехмерный анализ переходного процесса теплопередачи и напряжений (термических/механических) был проведен с использованием теории термомеханической связи. Для моделирования распределения температуры в радиальном и осевом направлениях ствола была использована программа ANSYS. Радиальное распределение температуры по толщине стенки цилиндра было подтверждено показаниями температуры, снятыми на внешней поверхности цилиндра с помощью телевизора, что является новым и высокоточным методом по сравнению с наиболее широко используемыми методами измерения с помощью термопар. Данные о давлении и температуре вдоль ствола использовались при анализе напряжений для получения радиальных, окружных и осевых напряжений.

Ключевые слова: внутренняя баллистика, переходная теплопередача, анализ напряжений, термомеханический анализ, ствол

Pavlyuchenko[1] A.N., Vansovich[2] E.N., Gromov[3] A.A., Godunov[4] A.I.

[1.2] 27 Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

[3] Branch of the Military Academy of Logistics named after Army General A. V. Khrulev in Penza, Penza, Russia

[4] Penza State University, Penza, Russia

[1] darkzgrom@gmail.com

[4] godunov@pnzgu.ru

ANALYSIS OF TEMPERATURE AND STRESSES WITH THERMOMECHANICAL COUPLING IN THE PROBLEM OF INTERNAL BALLISTICS

Annotation. A study has been conducted covering the internal ballistic solution of a 7.62mm barrel shot. A three-dimensional analysis of the transient heat transfer process and stresses (thermal/mechanical) was carried out using the theory of thermomechanical coupling. The ANSYS program was used to simulate the temperature distribution in the radial and axial directions of the barrel. The radial temperature distribution over the thickness of the cylinder wall was confirmed by temperature readings taken on the outer surface of the cylinder using a FLIR TV, which is a new and highly accurate method compared to the most widely used measurement methods using thermocouples. Pressure and temperature data along the barrel were used in stress analysis to obtain radial, circumferential and axial stresses.

Keywords: internal ballistics, transient heat transfer, stress analysis, thermomechanical analysis, barrel

Стрелковое оружие постоянно находится в совершенствовании в связи с разработкой новых средств бронезащиты. Значительная часть исследований ствола оружия была в основном сосредоточена на определении внутренних баллистических параметров, таких как давление, температура и распределение напряжений вдоль ствола, скорость снаряда и конструктивные проблемы, такие как уменьшение веса ствола, вибрации ствола, а также проблемы, связанные с горением, такие как самовоспламенение метательного вещества, износ, эрозия и увеличение срока службы ствола. Изучение внутренней баллистики в стволе оружейной системы является довольно сложным процессом. Кроме того, проведение испытаний при стрельбе и измерений в большинстве случаев является очень опасным и дорогостоящим. Кроме того, прилагаются значительные усилия для калибровки установки с одновременным принятием необходимых мер предосторожности при проведении испытаний.

Нагрев ствола – одна из важнейших проблем в конструкции оружия. Как только начинается сгорание пороха, температура газов в камере и стволе быстро повышается за миллисекунды, что приводит к сложному процессу теплопередачи, который, в свою очередь, вместе с давлением газов приводит к повышению высоких температур и напряжений в стволе. Оценить температуру и напряжения на внутренней поверхности ствола является сложным процессом. Рассмотрим данный процесс на основе моделирования.

Трехмерная модель испытательного ствола была нарисована с помощью ANSYS Design Modeler. Толщина ствола постепенно уменьшалась к дульному срезу. Чтобы временно смоделировать местоположение пули, ствол был разрезан на 19 частей, начиная с передней части ствола. Как видно на рисунке, части, находящиеся в

зоне максимального давления, были расположены ближе друг к другу. Местоположения точек разреза определяли в соответствии с методом Валье-Гейденрайха. Сетка была сформирована с 547-988 узлами через цилиндр. Чтобы проверить независимость сетки, ствол был проанализирован с 6, 10, 12 и 20 сетками в радиальном направлении, поскольку толщина ствола изменяется от 5 до 3 мм от камеры сгорания через дульный срез. После анализа с различными номерами сеток было установлено, что оптимальным номером сетки является 12. Температуры внешней поверхности цилиндра, соответствующие различным номерам ячеек, приведены в таблице 1.

Температура внешней поверхности для различных сеток **Таблица 1**

Номера радиальных сеток	Наружная температура секции -1 (°C)
6	165,51
10	158,38
12	156,44
20	156,07

Во время испытаний температура окружающей среды была измерена как 15°C, в то время как температура поверхности ствола составляла 16°C. После одного выстрела температура внешней поверхности повысилась до 24-25 °C. Перед испытанием с многократным выстрелом ствол охлаждали воздухом до комнатной температуры. С помощью всех необходимых входных данных, введенных в решатель ANSYS, значения внутренней и наружной температуры для всего резервуара были проанализированы в трехмерном виде. Полученные значения температуры были сравнены со значениями, измеренными тепловизором. Как видно из таблицы 2, результаты измерения температур внешней поверхности для выбранных 8 участков близко соответствовали друг другу как для численного анализа, так и для экспериментальных измерений с помощью тепловизора.

Сравнение максимальных температур наружных стенок при однократном и многократном 20 выстрелах **Таблица 2**

Секция	ANSYS Multiple Shot (C)	Тепловизор ANSYS Multiple Shot (°C)	Тепловизор ANSYS Single Shot (C)	Single Shot (°C)
1	156,44	158,8	25,4	24,8
2	156,08	158,5	25,2	24,6
3	155,66	152,1	24,53	24,2
4	154,77	147,1	23,71	23,8
5	152	143,9	23	23,4
6	147	138,2	22,36	23,1
7	142	133,8	21,81	22,7
8	137	129,9	21,3	22,3

Температуры внешней поверхности, полученные с помощью ANSYS solver. По сравнению друг с другом они находятся в тесной зависимости. Повышение температуры в камере сгорания и стволе является одним из наиболее важных конструктивных критериев, который необходимо учитывать. Когда новый патрон загружается в ствол и некоторое время выжидается, тепло передается от ствола к гильзе, а от гильзы - к пороху. Если температура метательного вещества достигает температуры воспламенения метательного вещества, начинается процесс самовоспламенения (воспламенение).

Распределение давления и скорости пули вдоль оси ствола приведено на рис. 1. Данные о давлении были введены в программу анализа конечных элементов ANSYS для определения напряжений, возникающих в стволе при движении пули. Радиальные напряжения были сжимающими по всей толщине стенки цилиндра. Наблюдалось, что максимальное радиальное напряжение возникало на внутренней стенке и нелинейно уменьшалось до нуля на внешней стенке. С другой стороны, окружные (кольцевые) напряжения были растягивающими по всей толщине стенки цилиндра. Снова наблюдалось, что максимальное окружное напряжение возникает на внутренней стенке, хотя оно не имело резкой тенденции к уменьшению по направлению к внешней стенке. Фактически, уменьшение имело асимптотический характер, так что минимальное окружное напряжение составляло около 75% от его максимального значения. Осевые напряжения были сжимающими на внутренней стенке, но сменились растягивающими на некотором радиусе между внутренней и наружной стенками.

Эквивалентные максимальные напряжения в каждой секции ствола (всего 19 секунд) были рассчитаны с использованием методики фон Мизеса. Рисунок 2 наглядно доказывает, что результаты аналитического решения для напряжений и решение для конечных элементов согласуются друг с другом. Переходные эквивалентные напряжения на восьми сечениях ствола показаны на рис. 3. Решение ANSYS для расчета

эквивалентных напряжений на внешней и внутренней поверхностях ствола приведено на Рис. 4. Эквивалентные напряжения уменьшились от патронника к дульному срезу вследствие более высокого давления и температуры газов вблизи торца патронника.

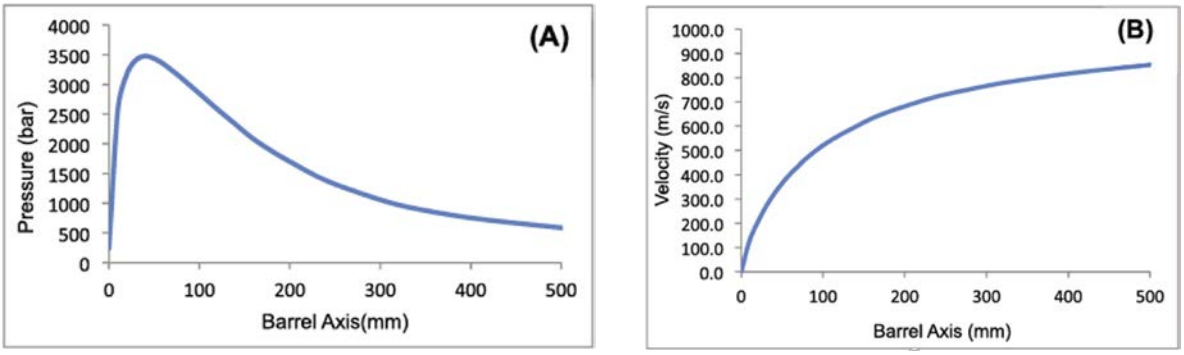


Рисунок 1 - Распределение давления и скорости пули вдоль оси ствола

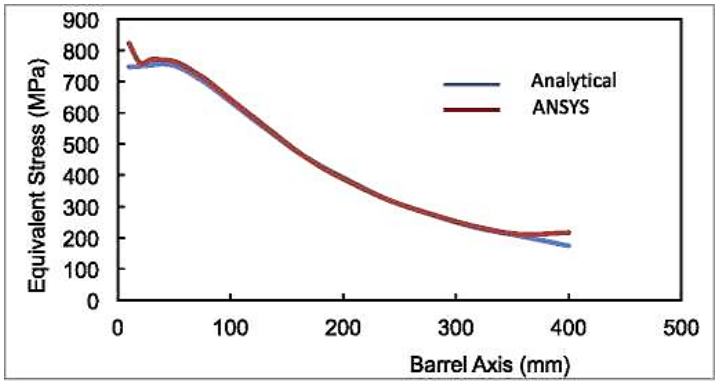


Рисунок 3 - Результаты аналитического решения для напряжений и решение для конечных элементов

Также были проведены многократные испытания по стрельбе из 20 патронов, где тепловые эффекты более важны. При проектировании ствола пистолета с использованием комбинированного подхода следует учитывать тепловые и механические нагрузки. Сразу после 19-го выстрела с помощью термического анализа ANSYS были определены температуры внутренних и наружных стенок вдоль 19 секций ствола, и результаты приведены в таблице 3.

Температура внутренней и наружной стенок ствола вдоль оси ствола непосредственно перед 20-м выстрелом **Таблица 3**

Секции	Температура внутренней стенки (°C)	Температура наружной стенки (°C)
1	206,1	131
2	196,3	127
3	195,7	127,04
4	193,43	126,74
5	188,48	125,02
6	181,8	122,11
7	173.9	118,33
8	165.3	114.07
9	156,6	110,45
10	147,2	106,2
11	13	135,9
12	12	93,15
13	114,1	84,1
14	103,2	75,7
15	94,9	71,7
16	86,5	67,3
17	79,6	64,1
18	74,4	62,1
19	70,9	62

Максимальные эквивалентные напряжения вдоль оси ствола в конце 20-го выстрела были рассчитаны с использованием значений температуры сразу после 19-го выстрела в качестве входных данных для программы анализа конечных элементов ANSYS. В случае многократной стрельбы по 20 патронов результаты аналитических и методом конечных элементов снова соответствовали друг другу, как и в случае с одиночным выстрелом.

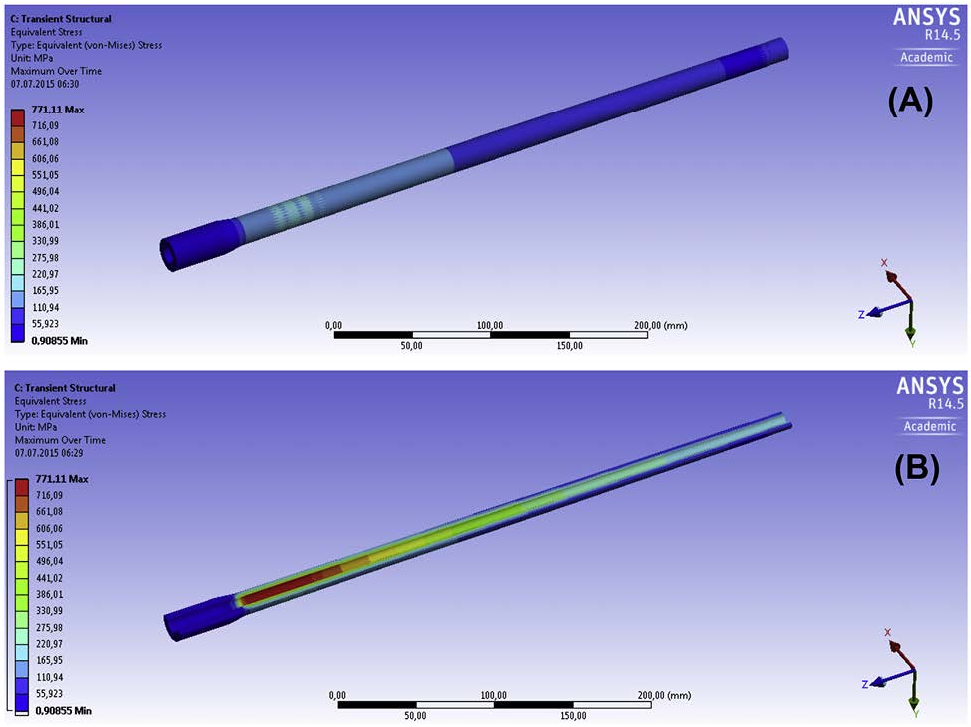


Рисунок 4 - Решение ANSYS для эквивалентных напряжений на А) внешней и Б) внутренней

Сравнивая результаты, касающиеся распределения температуры и напряжений вдоль оси ствола для одиночных и многократных 20 выстрелов (рис. 5), становится очевидным, что повышение температуры на внутренней и внешней поверхностях ствола по мере увеличения количества выстрелов становится более серьезной проблемой. Проектирование ствола с точки зрения прочности достаточно знать напряженное состояние ствола, соответствующее одному выстрелу, и судить о том, что представляет собой разрушение при нагрузке, в то время как для термического анализа строго необходимо общее количество последовательных выстрелов, чтобы определить конечное температурное состояние.

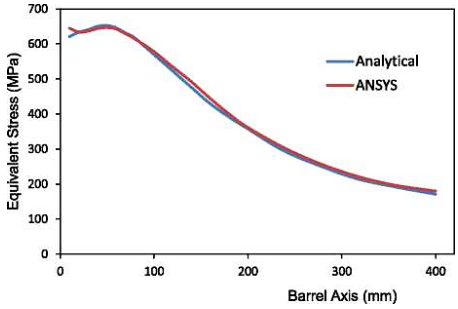


Рисунок 5 - Напряжения по Мизесу вдоль оси ствола при многократной стрельбе (20 выстрелов)

Таким образом, термический и напряженный анализ задачи внутренней баллистики был выполнен с использованием численного решения с использованием программного обеспечения ANSYS. Эквивалентные максимальные напряжения по фон Мизесу, рассчитанные аналитически вдоль оси ствола, идеально соответствовали конечно-элементному решению ANSYS как для случаев одиночного выстрела, так и для множественной стрельбы по 20 патронов. Результаты испытаний показывают, что повышение температуры в стволе является одним из наиболее важных конструктивных критериев, которые необходимо учитывать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б. Ву, Г. Чен, В. Ся, теплопередача в 155-мм стволе составной пушки с встроенные каналы охлаждения во всю длину средней стенки, ок. Терм. Ru. 28 (2008) - С. 881-888.

2. Х.Л. Ли, Ю.К. Янг, У.Дж. Чанг, Т.С. Ву, Оценка потока тепла и тепловая напряжения в многослойном стволе пистолета с сопротивлением тепловому контакту, Прил. Математика. Вычисление. 209 (2009) - С. 211-221.

3. Т.К. Чен, К.К. Лю, Х.Я. Чан, П.К. Туан, Обратная оценка потока теплоты и температура в многослойном стволе пистолета, Int. J. Тепло-масса обмен 50 (2007) - С. 2060-2068.

4. К.У. Нельсон, Дж.Р. Уорд, Расчет теплопередачи к стенке ствола орудия, США Управление исследований и разработок армейского вооружения в области баллистических исследований Лаборатория, 1981 год. Отчет о меморандуме BRL-MR-03094.

УДК 662.215.11

Терентьев[1] А.Б., Филиппов[2] Д.Ф., Ошкин[3] А.А., Годунов[4] А.И.

[1,2,3]Филиал Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева в г. Пензе, Пенза, Россия

[4] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[2] filippov.dima@mail.ru

[4] godunov@pnzgu.ru.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ СТОЙКОСТИ ШТАТНЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ СОСТАВОВ

Аннотация. Одной из главных задач повышения стойкости боеприпасов к опасным внешним воздействиям является повышение тепловой стойкости взрывчатых составов. Высокая тепловая стойкость взрывчатых составов необходима в нештатных ситуациях возникновения пожара на соседних складах, хранилищах, на объектах военной техники (медленный нагрев) или на складе, в хранилище, на объектах военной техники (быстрый нагрев).

В настоящее время тепловая стойкость взрывчатых составов характеризуется значением температуры вспышки, определяемой экспериментально при пятисекундной или пятиминутной задержке воспламенения. Однако данная характеристика является достаточно условной и в связи с высокой субъективностью ее оценки имеет значительный разброс значений, приводимых в различных источниках.

Приводятся результаты экспериментальной оценки тепловой стойкости штатных и перспективных взрывчатых составов по новой методике. Представлены предложения по разработке стандарта предприятия.

Ключевые слова: боеприпасы, испытания, опасные внешние воздействия, тепловая стойкость, температура вспышки, тепловыделение, нормативные документы

Terentev[1]A.B., Filippov[2]D.F., Oshkin[3]A.A., Godunov[4] A.I.

[1,2,3] Branch of the Military Academy of Material-Technical Support named after Army General A. V. Khrulyov in Penza, Penza, Russia

[4] Penza State University, Penza, Russia

[2] filippov.dima@mail.ru

[4] godunov@pnzgu.ru

RESULTS OF DETERMINING THE THERMAL STABILITY OF STANDARD AND PROSPECTIVE EXPLOSIVE COMPOSITIONS

Annotation. One of the key tasks in increasing the resilience of ammunition to hazardous external influences is enhancing the thermal stability of explosive compositions (ECs). High thermal stability of ECs is required in emergency situations such as fires occurring in neighboring warehouses, storage facilities, military equipment objects (slow heating), or in warehouses, storage facilities, military equipment objects (rapid heating).

Currently, the thermal stability of ECs is characterized by the flash point temperature value, determined experimentally with a five-second or five-minute ignition delay. However, this characteristic is somewhat conditional and due to its high subjectivity in evaluation, it exhibits a significant range of values cited in various sources.

The results of experimental assessment of the thermal stability of standard and prospective ECs are presented using a new methodology. Suggestions for developing an enterprise standard are provided.

Keywords: ammunition, testing, hazardous external influences, thermal stability, flash point temperature, heat release, regulatory documents

В последние годы за рубежом и в нашей стране при разработке боеприпасов (БП) особое внимание уделяется их безопасности, сохранности и защищенности на всех стадиях жизненного цикла, моделированию аварийных ситуаций и прогнозированию их последствий, повышению безопасности БП при несанкционированных действиях. Важность этих вопросов повышается с постоянным ростом стоимости носителей БП (танков, самоходных артиллерийских установок, самолетов, кораблей и т. д.).

Исследованиями доказано, что для повышения безопасности БП при несанкционированных опасных внешних воздействиях (ОВВ) необходимо снижать уровень их уязвимости от таких воздействий как тепловое поле пожара, удар пули и осколков, ударная волна, разлет осколков при взрыве смежного БП, удар при падении, действие кумулятивной струи [1].

На сегодняшний день можно констатировать, в странах НАТО действует система стандартов STANAG, которая запрещает закупку БП у промышленности, не отвечающих требованиям по безопасности [1]. Однако в этих стандартах не обосновывается выбор критериев безопасности и их уровень.

Учитывая то, что в России отсутствует подобная система стандартов, а в целом и концепция разработки БП с повышенной стойкостью к ОВВ для всех этапов их жизненного цикла, включающая требования по стойкости и безопасности на основе разработанных критериев и методик их квалификации, актуальной становится задача по повышению эксплуатационной безопасности перспективных и модернизируемых БП к внешнему тепловому воздействию на основе применения малочувствительных взрывчатых составов (МЧВС) и разработке методического обеспечения исследований

повышения безопасности артиллерийских снарядов при несанкционированных действиях в виде нагрева БП, при этом эффективность существующих и создаваемых снарядов с повышенной стойкостью к ОВВ должна отвечать современным требованиям. Необходимы новые БП, более могущественные при действии у цели, но при этом обладающие малой чувствительностью снаряжения к опасным внешним воздействиям.

К несанкционированным внешним воздействиям на средства поражения и боеприпасы в настоящее время относят механические, тепловые и ударно-волновые воздействия. Такие воздействия возникают при падении изделия с высоты, прострелe пулей или сколками, действии кумулятивной струи, детонации соседнего боеприпаса, а также тепловые воздействия от пожара непосредственно на объекте с боеприпасами или на соседнем объекте. Соответственно выделяют внешнее воздействие быстрым нагревом и медленным нагревом. Скорость медленного нагрева – 1…30 град/ч, начиная с температуры окружающей среды. Режим медленного нагрева характеризуется низкими градиентами температуры в БП, но продолжается длительное время и может создать в объеме объекта относительно высокую температуру с возникновением экзотермических самоподдерживающихся реакций.

Анализ типов реакций боеприпасов, в том числе и артиллерийских снарядов, на несанкционированные внешние воздействия показал, что в настоящее время их классифицируют следующим образом: I – детонация, II – частичная детонация, III – взрыв, IV – дефлаграция, V – горение, VI – отсутствие реакции.

Чувствительность взрывчатых составов (ВС) к внешним тепловым воздействиям до настоящего времени оценивается по значению температуры вспышки ВС при пятисекундной или пятиминутной задержке воспламенения. Однако данный критерий является субъективным, не отражает особенностей реальных процессов быстрого нагрева артиллерийских боеприпасов при пожаре на носителе изделий или в хранилище, поэтому не может выступать в роли критерия тепловой стойкости ВС. Соответственно данный критерий не может характеризовать и время задержки реакции снаряда на несанкционированный быстрый нагрев.

В связи с этим была поставлена задача обоснования предложений по критерию оценки тепловой стойкости ВС – температуре вспышки при непрерывном (с задаваемой скоростью) нагреве ВС до достижения максимального тепловыделения с помощью комплекса теплофизических испытаний (КТИ) «Тепло», отработке структуры и содержания расчетно-экспериментальной методики определения тепловой стойкости ВС на КТИ «Тепло», а также отработке методики натурных испытаний БП на медленный нагрев [2]. Исследованиям термического разложения подвергались как штатные ВС, так и перспективные МЧВС фугасного действия.

В связи с этим были проведены исследования процессов термического разложения штатных и перспективных взрывчатых составов (табл. 1), проведенные с помощью прибора ЦД-4 и комплекса теплофизических исследований (КТИ) «Тепло», а также отработка методики натурных испытаний БП на медленный нагрев.

Штатные и перспективные взрывчатые составы Таблица 1

Взрывчатый состав	Компоненты составов
А-IX-1	Гексоген – 95 %, флегматизатор – 5 %
А-IX-2	А-IX-1 – 80 %, Al – 20 %
ОВС-1	А-IX-1 – 65 %, Al – 20 %; НА* – 10 %; ПС** – 5 %
ОВС-2	А-IX-1 – 60 %, Al – 20 %; НА – 15 %; ПС – 5 %
ОВС-3	А-IX-1 – 55 %, Al – 20 %; НА – 20 %; ПС – 5 %
ОВС-4	А-IX-1 – 50 %, Al – 20 %; НА – 25 %; ПС – 5 %
ОВС-5	А-IX-1 – 45 %, Al – 20 %; НА – 30 %; ПС – 5 %

Примечание: * – нитрат аммония; ** – полимерная связка

Исследования показали, что наиболее адекватной оценке тепловой стойкости ВС при быстром нагреве в условиях пожара отвечает критерий, определяемый в КТИ «Тепло». Этим критерием является температура вспышки ВС, определяемая при непрерывном программируемом нагреве ВС в термостате КТИ. Кроме этого, программа обработки экспериментальных данных, полученных с помощью КТИ, позволяет исследовать механизм термического разложения ВС и определить важный кинетический параметр – энергию активации процесса термического разложения ВС.

Анализ полученных с помощью прибора ЦД-4 значений температуры вспышки штатных и перспективных фугасных ВС показывает, что опытные составы имеют более высокие значения, чем штатный фугасный состав А-IX-2 (рис. 1 и табл. 2). Очевидно, следует ожидать и более высокой стойкости таких ВС к опасным внешним тепловым воздействиям.

Следует отметить, что температура вспышки ВС, определяемая прибором ЦД-4, является относительно субъективной характеристикой, так как привязана

нормативными документами к 5-тисекундной задержке вспышки. Очевидно, что более объективной будет оценка тепловой стойкости ВС с помощью КТИ веществ «Тепло». Комплекс позволяет проводить испытания ВС при непрерывном программируемом нагреве состава до достижения максимального тепловыделения, определяющего начало интенсивного термического разложения ВС (вспышки).

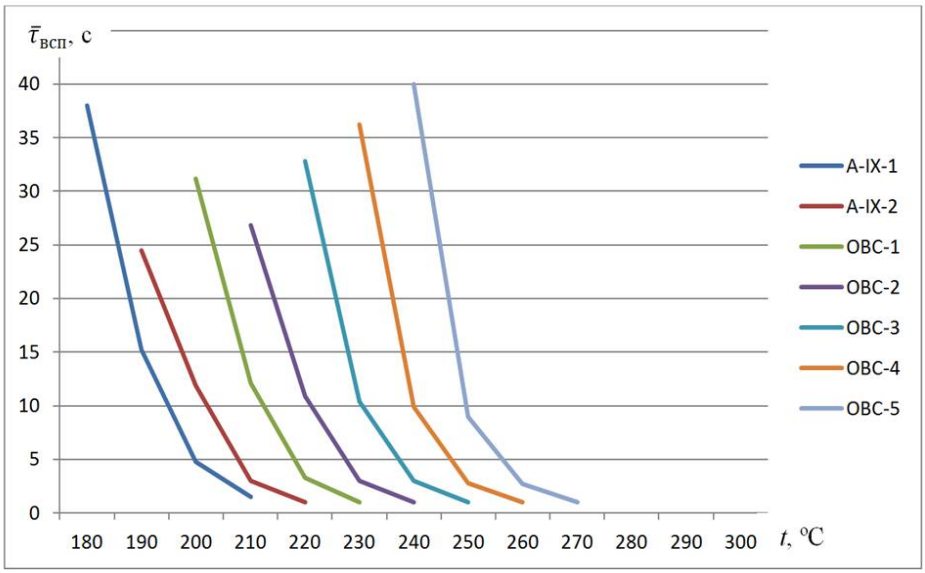


Рисунок 1 - Зависимости задержки воспламенения $\bar{\tau}_{всп}$ от температуры t

Температура вспышки взрывчатых составов Таблица 2

Взрывчатый состав	Температура вспышки $t_{всп}$, °С
А-IX-1	203
А-IX-2	211
ОВС-1	222
ОВС-2	231
ОВС-3	241
ОВС-4	250
ОВС-5	261

Метод основан на принципе измерения процесса тепловыделения при термическом разложении ВС при динамическом нагреве в закрытых реакционных объемах. Тепловую стойкость ВС предлагается характеризовать температурой вспышки (при достижении максимального тепловыделения) в условиях динамического нагрева с использованием автоматической системы регистрации процесса тепловыделения.

Для обработки результатов термических испытаний ВС с помощью КТИ «Тепло» и расчета кинетических параметров процессов их термического разложения в экспериментальной установке применена программа для ЭВМ «Активация». Характерные кривые нарастания температуры ампулы с ВС и тепловыделения в процессе нагрева ВС представлены на рисунке 2.

По максимальному тепловыделению регистрировалась температура вспышки ВС. Условия проведения испытания и результаты обработки опытных кривых показаны на рисунке 3 в виде информации, выводимой программой «Активация».

В табл. 4 обобщены результаты определения температуры вспышки и энергии активации ВС, подвергнутых термическим испытаниям в КТИ «Тепло». Очевидно, что определение энергии активации на основе термических испытаний в КТИ «Тепло» и последующей автоматизированной обработки результатов с помощью программы ЭВМ «Активация» является достаточно точным. Более того, такие испытания позволяют отдельно рассматривать реакции различного порядка, протекающие при термическом разложении ВС. В частности, исследуемые процессы термического разложения составов протекали по двум механизмам, определяемым реакциями нулевого порядка и автокаталитическими реакциями 2 порядка.

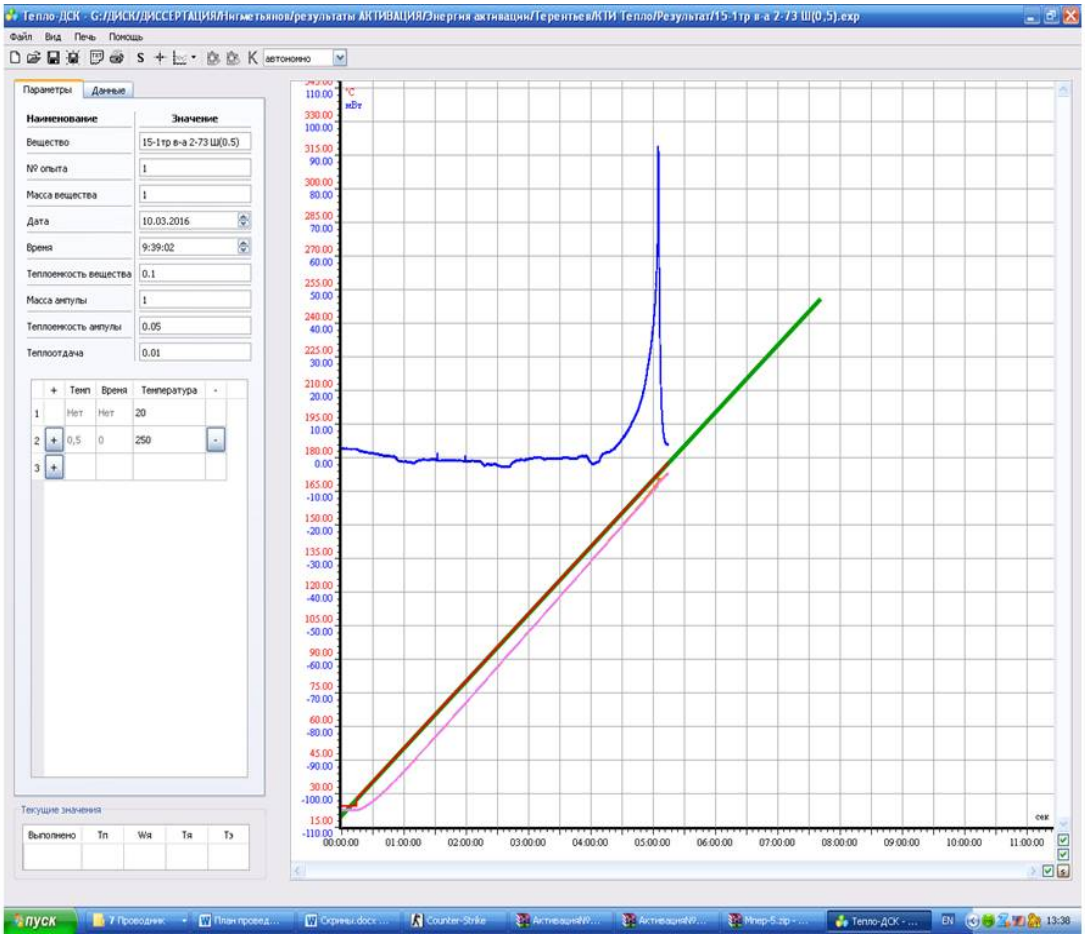


Рисунок 2 - Регистрация температуры и тепловыделения при нагреве состава

Температура вспышки и энергия активации взрывчатых составов Таблица 4

Взрывчатый состав	Температура вспышки $t_{всп}$, °C	Энергия активации E_1, ккал/моль	Энергия активации E_3, ккал/моль
А-IX-1	197	46,1	44,5
А-IX-2	205	48,8	46,7
ОВС-1	213	52,4	50,1
ОВС-2	221	54,7	51,5
ОВС-3	232	57,5	54,3
ОВС-4	243	62,3	59,7
ОВС-5	254	65,8	64,3

Такой подход позволяет более глубоко понимать механизм термического разложения ВС и, естественно, понимать процессы, протекающие при внешних тепловых воздействиях на ВС и в целом на боеприпас.

В результате экспериментальных исследований чувствительности штатных и перспективных ВС к быстрому нагреву с помошью прибора ЦД-4 и КТИ «Тепло» проведена статистическая обработка результатов исследований, получены регрессионные зависимости для параметров процессов термического разложения ВС, обоснованы предложения по критерию оценки тепловой стойкости ВС – температуре вспышки при непрерывном (с задаваемой скоростью) нагреве ВС до достижения максимального тепловыделения на КТИ «Тепло», отработаны структура и содержание методики определения тепловой стойкости ВС на КТИ «Тепло» и последующего расчета кинетических параметров термораспада ВС.

Таким образом, результаты исследований показывают, что перспективные ВС ОВС-1 и ОВС-2 обладают более высокой тепловой стойкостью, чем штатные ВС. Очевидно, что БП, снаряженные подобными ВС, будут более стойкими к несанкционированному медленному нагреву.

Q1:5200		A-IX-1exp	A-IX-1(1,5)exp	A-IX-1(2,0)exp
Q2:500	Вещество	A-IX-1	A-IX-1(1,5)	A-IX-1(2.0)
K1:18.03	Масса вещества	10.00	10.00	10.00
E1:46100.00	Теплоемкость вещества	0.10	0.10	0.10
K3:17.69	Масса ампулы	1.0	1.0	1.0
E3:44500.00	Теплоемкость ампулы	0,05	0,05	0,05
	Теплоотдача	0,01	0,01	0,01
	№ опыта	1	1	1
	Дата	25.06.2015 9:45	25.06.2015 12:52	25.06.2015 15:25

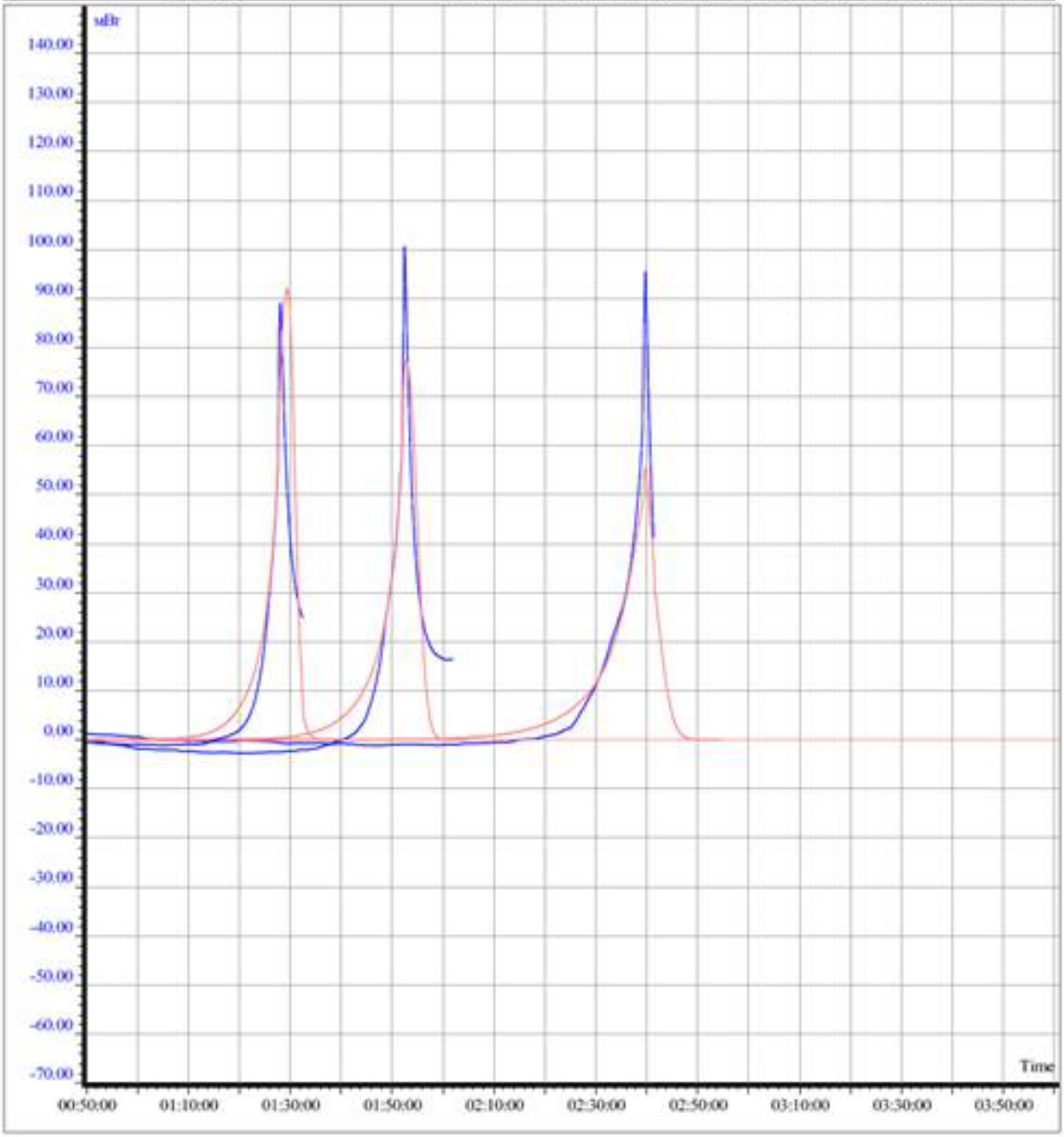


Рисунок 3 - Результаты испытаний в графической и цифровой форме

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боеприпасы повышенной стойкости к опасным внешним воздействиям: особенности конструирования, испытаний и эксплуатации / Б. В. Мацеевич [и др.]. - Красноармейск: ОАО «КНИИМ», 2014. - 168 с.

2. Терентьев, А. Б. Расчетно-экспериментальные методики оценки стойкости боеприпасов к медленному нагреву / Боеприпасы и спецхимия // А.Б. Терентьев, Д.О. Тюкин, С.Н. Курков и др. - М.: АО НПО «Сплав», 2018. - С. 150-155.

УДК 697.317

Федечкина Е.П.
Пензенский колледж архитектуры и строительства, Пенза, Россия
kipra@pnzgu.ru

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К СОВРЕМЕННЫМ СИСТЕМАМ ОТОПЛЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Аннотация. В статье проведён анализ технических требований к системам отопления, теплого пола и горячего водоснабжения частного дома с точки зрения обеспечения комфортных условий проживания. Особое внимание уделено стабильности температуры воздуха, теплого пола и горячей воды. Обоснована необходимость зонального регулирования температуры с помощью многоконтурной системы разводки труб для радиаторов. Рассмотрены варианты регулирования и управления отопительным котлом с точки зрения надежности и ремонтопригодности.

Ключевые слова: теплый пол, комнатный термостат, теплоноситель, горячее водоснабжение, бойлер косвенного нагрева, термостатическая головка, зональное регулирование

Fedechkina E.P.
Penza College of Architecture and Construction, Penza, Russia
kipra@pnzgu.ru

ANALYSIS OF THE FUNCTIONAL FEATURES OF COMMON HEATING SCHEMES OF INDIVIDUAL HOME

Annotation. The article analyzes the technical requirements for heating systems, underfloor heating and hot water supply of a private house from the point of view of providing comfortable living conditions. Special attention is paid to the stability of air temperature, underfloor heating and hot water. The necessity of zonal temperature control using a multi-circuit pipe wiring system for radiators is substantiated. The options for regulating the control of the heating boiler from the point of view of reliability and maintainability are considered.

Keywords: underfloor heating, room thermostat, coolant, hot water supply, indirect heating boiler, thermostatic head, zonal regulation

Актуальность. В настоящее время в России активно развивается индивидуальное жилое строительство. Часто люди покупают участок, оформляют разрешение на строительство и строят дом самостоятельно. Довольно распространена практика проектирования и строительства под заказ различными строительными компаниями. Любой жилой дом на территории России нуждается в системе искусственного обогрева помещений. Система отопления является важнейшей технической системой частного дома, проектированию которой зачастую не уделяется должного внимания. Как правило, небольшие строительные компании и собственники, строящие дом своими силами, ориентируются на технические решения, ставшие стандартами де-факто. Иными словами, люди делают так же, как у всех, не вникая в тонкости и нюансы различных схем отопления. Системы отопления с радиаторами, теплым полом и ГВС реализуются, как правило, по нескольким типовым схемам, отличия которых незначительны. Такой подход обусловлен стоимостью системы, доступной номенклатурой комплектующих и уровнем компетентности разработчиков. Проектирование системы отопления необходимо начинать с анализа технических требований, которые, как правило, у большинства владельцев частного дома одинаковые.

Основные технические требования к системе отопления

Любая система отопления предназначена для постоянного и непрерывного создания комфортных условий пребывания людей в помещениях жилого дома. К комфортным условиям относятся температура воздуха, температура напольного покрытия и температура горячего водоснабжения. Как правило, в подавляющем большинстве вновь вводимых в эксплуатацию частных жилых домов, все эти три компонента реализуются системой отопления. Однако, по истечении некоторого времени проживания, качество и комфорт не всегда отвечает ожиданиям собственников. Качество системы отопления в большей степени определяется следующими свойствами:

- стабильность температуры напольного покрытия во времени;
- стабильность температуры напольного покрытия по площади;
- стабильность температуры воздуха во времени;
- стабильность температуры воздуха в объёме помещения;
- стабильность температуры ГВС вне зависимости от напора воды;
- надежность системы отопления;
- ремонтопригодность системы отопления.

В данный перечень не входят такие параметры как расход газа и дистанционное управление системой, т.к. они не имеют непосредственного отношения к качеству. Однако это не означает, что выполнение этих требований нецелесообразно. Выполнение всех перечисленных требований входит в противоречие с желанием каждого собственника в снижении затрат. В угоду экономии владельцы часто отказываются от каких-либо элементов системы, из-за чего, в итоге, снижается уровень комфорта проживания, удобство управления и информирования, а также увеличиваются затраты во время эксплуатации.

Стабильная температура воздуха

Наиболее распространенным способом поддержания постоянной температуры воздуха в настоящее время является комнатный термостат. По его сигналу включается и выключается котел. Таким образом стабилизируется температура воздуха в области термостата, чаще всего его размещают в центре комнаты. Если нет теплого пола, а обогрев осуществляется только радиаторами, температура воздуха в области пола будет значительно ниже, чем температура в районе потолка. Разница температур может достигать 10°С. Согласно СНиП 41-01-2003 п. 6.5.12 температура поверхности пола по оси нагревательного элемента в жилых зданиях не должна превышать 35°С [1]. Таким образом при целевой температуре воздуха 23°С и температуре напольного покрытия 32°С возможен режим, когда работа радиаторов не требуется. В этом случае характер обогрева становится близким к лучистому, а температура воздуха на разной высоте помещения становится более равномерной [2, 3]. Таким образом, наиболее комфортные условия создаёт режим работы при котором температура теплого пола постоянна, а радиаторы подключаются при снижении температуры воздуха ниже установленного значения.

Стабильная температура напольного покрытия

Для комфортного хождения по полу босыми ногами требуется поддержание температуры напольного покрытия в определённом диапазоне. Активность терморецепторов зависит от температуры поверхности кожи ног, составляющей в условиях температурного комфорта около 33°С. При снижении температуры кожи растёт активность холодовых рецепторов с максимумом в диапазоне от 26 до 17°С, что субъективно расценивается как действие на кожу холода. При повышении температуры кожи от 34 до 45°С увеличивается импульсная активность тепловых рецепторов, что субъективно ощущается как возрастающее по интенсивности действие на кожу тепла. При уменьшении температуры кожи ниже 17°С и увеличении выше 45°С к температурным ощущениям прибавляются болевые [4]. Таким образом, для комфортного хождения по полу босыми ногами, необходимо поддерживать температуру напольного покрытия в диапазоне 32-34°С. Во время оттепели, возможна ситуация, когда при температуре напольного покрытия 32°С, температура воздуха превысит заданную, в этом случае необходимо снизить температуру теплоносителя теплого пола. Таким образом, диапазон температуры напольного покрытия целесообразно устанавливать в диапазоне 26-32°С, что исключает дискомфортные ощущения и позволяет в значительном диапазоне регулировать температуру воздуха при отоплении без включения радиаторов.

При управлении работой отопительного котла от комнатного термостата возможен режим, когда температура воздуха не опускается ниже установленного значения несколько часов. За это время температура напольного покрытия может опуститься ниже комфортного значения. Для недопущения этого негативного явления необходимо использовать вместо комнатного термостата чуть более продвинутый модуль управления отопительным котлом.

Стабильная температура ГВС

Практически все современные системы отопления позволяют организовать непрерывное обеспечение горячей водой. Однако качество ГВС может быть различным в зависимости от технических решений, применённых в каждой системе. Наиболее простым и дешевым решением является двухконтурный котел. Вода нагревается в газовом котле с помощью отдельного контура, никаких дополнительных технических средств не требуется. Минусом такого решения является нестабильность температуры воды в зависимости от напора. При регулировании в смесителе слишком низкого расхода воды, котел может отключится, т.к. в большинстве моделей котлов модуляция пламени осуществляется в узком диапазоне.

Более совершенным техническим решением является ГВС накопительного типа. В систему вводятся несколько дополнительных дорогостоящих элементов – бойлер косвенного нагрева, насос или трёхходовой клапан. Данная система позволяет получить стабильную температуру горячей воды вне зависимости от напора. Учитывая накопительный принцип действия, при высоком пиковом характере потребления горячей воды может потребоваться бойлер значительного объёма.

Многоконтурные системы

Большинство современных частных домов строятся по типовым проектам с незначительными вариациями компоновок и декоративными вкусовыми предпочтениями. Часто дома состоят из цокольного этажа (подвала или подпола), основного первого этажа и второго этажа (полноценного или мансардного). На первом этаже, как правило, располагается большая кухня-гостиная, коридор, санузел, котельная. Часто под одной крышей располагается отапливаемый гараж, выполняющий одновременно функцию мастерской или кладовки. На втором этаже находятся спальня и детские. Подвал бывает отапливаемый или неотапливаемый, чаще всего выполняет функцию технического помещения с коммуникациями. Таким образом, современный

частный жилой дом состоит из нескольких помещений с разными функциями и микроклиматом. Так, например, на кухне может располагаться бытовая техника суммарной электрической мощностью до 15 кВт. Духовка, варочная панель (или газовая плита), электрогриль, электрочайник, микроволновка и т.п. в некоторые моменты могут работать одновременно, и выделять значительное тепло. В коридоре и гараже наоборот, могут часто открываться двери и ворота, охлаждая помещения. В некоторые периоды, например ночью, все помещения дома находятся в более одинаковых условиях. Таким образом, возникает необходимость зонального регулирования тепловой отдачи системы отопления в различных контурах (комнатах). Сейчас наиболее простым и популярным решением этой проблемы являются термоголовки устанавливаемые на каждой батареи. Однако они имеют недостаток, связанный с инерционностью. Термоголовки не способны быстро реагировать на изменение температуры. Более совершенным техническим решением является регулирование каждого контура отопления при помощи управления циркуляционными насосами или трёхходовыми клапанами. Для этого требуется применение довольно сложной и дорогостоящей автоматики.

Надежность и ремонтопригодность системы

При выборе типа и состава системы отопления будущие домовладельцы думают о будущем обслуживании и ремонте системы. Современную автоматику недостаточно только купить, установить и настроить. Её еще нужно обслуживать. Сервисное обслуживание включает в себя плановый осмотр, регулярное обслуживание и при необходимости ремонт. Обслуживающая организация хранит в базе управляющую программу, заложенную в контроллере системы отопления, и при необходимости может быстро и безболезненно восстановить систему при выходе из строя контроллера. Такое сервисное обслуживание требует регулярной абонентской платы. Если этого не делать и обратиться в другую компанию, объём работ и стоимость ремонта может быть сопоставим с проектированием новой системы отопления, т.к. придется заново разработать управляющую программу и провести пусконаладочные работы. Кроме того, часто элементы автоматики работают с ограниченным типом газовых котлов и исполнительных элементов [5]. При выходе из строя одного элемента, может понадобиться замена полного комплекта, в том числе и котла. Таким образом, конечному пользователю с точки зрения экономической целесообразности выгодно использовать в системе отопления компоненты, которые можно заменить самостоятельно без изменения конфигурации системы. Система должна быть скомпонована таким образом, чтобы любой специалист широкого профиля в области отопления мог её отремонтировать с минимальными финансовыми вложениями. К сожалению, в настоящее время из доступных регуляторов только комнатный термостат или сложная дорогостоящая программируемая автоматика. Именно поэтому большинство пользователей выбирают типовые распространенные технические решения, которые заставляют мириться с некоторыми некомфортными особенностями.

Заключение

В настоящее время для создания комфортных условий проживания в частном доме уже недостаточно просто поддерживать температуру воздуха в заданном диапазоне. Необходимо создавать условия, при которых температура воздуха в каждой точке дома будет стабильной вне зависимости от внешних условий и ситуации. Температура напольного покрытия должна быть постоянной и находиться диапазоне температурного комфорта 26-34°С в зависимости от сезона и погодных условий. Температура горячей воды должна быть стабильной вне зависимости от напора потребления. Все эти требования должны обеспечиваться при условии надежности и ремонтопригодности системы. В настоящее время это возможно при использовании дорогостоящей автоматики и проведения регулярного сервисного обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 41-01-2003". Отопление, вентиляция и кондиционирование".

2. Легезина, А. С. Теплый пол в жилых помещениях: конструкция, достоинства / А. С. Легезина, Г. В. Кореньков // Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее: Сборник научных статей Всероссийской научной конференции. В 4-х томах, Курск, 17-18 октября 2018 года / Ответственный редактор А.А. Горохов. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2018. – С. 269-272. – EDN VLPTRG.

3. Intellectual Method for Reliability Assessment of Radio-Electronic Means / N.K. Yurkov, A.K. Grishko, A.V. Lysenko [et al.] // 2018 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2018, Saratov, 27–28 сентября 2018 года. – Saratov: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. – P. 105-112. – DOI 10.1109/APEDE.2018.8542360. – EDN WUCKOJ.

4. Медведев, А. А. Особенности и механизмы температурной чувствительности (обзор) / А. А. Медведев, Л. В. Соколова // Журнал медико-биологических исследований. – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 92-105. – DOI 10.17238/issn2542-1298.2019.7.1.92. – EDN YXGABN.

5. Никишина, А. Многозональное регулирование автоматикой от Frisquet / А. Никишина // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2014. – № 9(153). – С. 76-77. – EDN TWKERH.

УДК 536.2.083

Тузова[1] Д.Е., Печерская[2] Е.А., Карпанин[3] О.В., Нелюцков[4] М.А., Першин[5] Е.А., Зинченко[6] Т.О.

[1,2,3,4,5,5,6] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР И ПРИБОРОВ

Аннотация. Статья посвящена классификации методов измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых структур и приборов. Рассмотрена классификация по степени автоматизации, характеру подаваемых измерительных воздействий, состоянию прибора во время измерений и по использованию математической обработки результатов измерений. Приведены наиболее эффективные методы измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых структур на основе прозрачных проводящих покрытий, описаны их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: вольт-амперная характеристика, метод измерения, полупроводниковая структура, классификация методов измерения

Финансирование: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 23-29-00343)

Tuzova[1] D.E., Pecherskaya[2] E.A., Karpanin[3] O.V., Nelyutskov[4] M.A., Pershin[5] E.A., Zinchenko[6] T.O.

[1,2,3,4,5,6] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

SYSTEMATIZATION OF METHODS FOR MEASURING VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTOR STRUCTURES AND DEVICES

Annotation. The article is devoted to the classification of methods for measuring the volt-ampere characteristics of semiconductor devices. The classification is considered according to the degree of automation, the nature of the applied measuring effects, the condition of the device during measurements and the use of mathematical processing of measurement results. The most effective methods for measuring the volt-ampere characteristics of semiconductor structures based on transparent conductive coatings are presented, their advantages and disadvantages are described.

Keywords: volt-ampere characteristic, measurement method, semiconductor device, classification of measurement methods

Financing: The work was supported by the Russian Science Foundation (№ 23-29-00343)

Введение

В настоящее время практически во всех отраслях техники применяются полупроводниковые приборы. Они получили широкое распространение в таких сферах, как электроника, приборостроение, машиностроение, обработка сигналов. Правильно разработанный технологический процесс производства полупроводниковых приборов оказывает существенное влияние на их качество и точность. Поэтому очень важно осуществлять контроль качества выпускаемой продукции, который заключается в проверке заданных характеристик, указанных в технических условиях. Для проверки качества полупроводниковых изделий применяются различные методы измерения их вольт-амперных характеристик. От правильности выбора метода измерения вольт-амперных характеристик зависит технико-экономическая эффективность технологического процесса производства полупроводниковых изделий. Чаще всего методы измерения вольт-амперных характеристик делят на динамические (импульсные) и статические (непрерывные) [1-2].

В статическом методе измерения вольт-амперных характеристик на опытный образец подают непрерывно изменяющиеся во времени электрические воздействия. В динамическом методе измерения на исследуемый образец подают короткие импульсы, изменяющие отклик прибора.

Приведенная классификация методов измерения обладает рядом недостатков:

Определение привязки нового метода измерения к одному из видов классификации невозможно из-за отсутствия четких критериев оценки;

Отсутствие важных параметров при процессе измерения полупроводниковых приборов. В доступе присутствует информация только о форме измерительного воздействия [4].

Поэтому в настоящее время существует множество классификаций методов измерения вольт-амперных характеристик, которые будут рассмотрены далее в статье.

Классификация методов измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов

Приведенный анализ российских и зарубежных научных источников показал, что в настоящее время методы измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов подразделяются на:

Статические;

Динамические;

Методы измерения двух- или трехэлектродных полупроводниковых приборов;

Методы измерения полупроводниковых приборов, имеющих участки с отрицательным сопротивлением;

Методы при которых учитывается тепловое состояние исследуемого образца в процессе измерения его параметров;

Методы измерения, в которых анализ полученной информации осуществляется с помощью статической и математической обработки;

Автоматизированные методы измерения.

На рисунке 1 представлена основная классификация методов измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов, составленная при выделении их основных признаков и свойств [3].

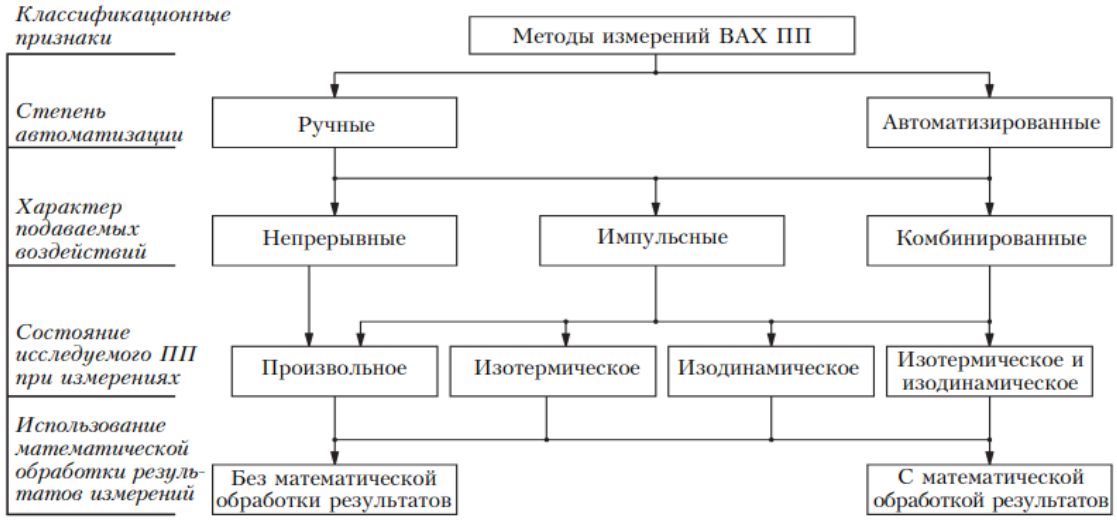


Рисунок 1 – Основная классификация методов измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов

В следствии того, что вольт-амперная характеристика полупроводникового прибора представляет собой зависимость тока от напряжения смещения наиболее популярной классификацией является классификация по степени автоматизации, которая подразделяется на ручную и автоматизированную.

При осуществлении ручного метода измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов процесс измерения их параметров проводится оператором вручную. Он проводит регистрацию полученных данных и их обработку. Такой метод измерения эффективен при учете саморазогрева исследуемого образца и длительности измерительного процесса. В автоматизированных методах процесс измерения, регистрация полученной информации и её обработка осуществляется с помощью автоматизированного средства измерения. Обычно такой метод применяется при трудоемких и масштабных измерениях, например, он использован для исследования вольт-амперных характеристик структур на основе прозрачных проводящих покрытий [5]

Классификация по характеру подаваемых измерительных воздействий на исследуемый объект подразумевает собой деление методов измерения вольт-амперных характеристик на непрерывные, импульсные и комбинированные [6].

Непрерывные методы измерения вольт-амперных характеристик осуществляются при подаче на исследуемый объект непрерывных во времени воздействий, у которых на всем времени измерительного процесса изменяется амплитуда. Форма воздействий может иметь различный вид. В основном она зависит от типа объекта измерения и самого средства измерения. В большинстве случаев применяют воздействия, имеющие форму ступенчато изменяющейся амплитуды (рисунок 2).

Минусом непрерывных методов измерения вольт-амперных характеристик является наличие методической погрешности, которая возникает вследствие накопление тепла в полупроводниковом приборе, что искажает его вольт-амперную характеристику. Помимо данной проблемы нагрев исследуемого объекта приводит к уменьшению диапазона измерения [7].

Методы, при которых на полупроводниковый прибор подают последовательность импульсов, имеющих разное значение амплитуды, при условии отсутствия воздействия при паузах их подач, называются импульсными. Чаще всего из импульсных методов используется метод, при котором осуществляется подача сигнала прямоугольной формы (рисунок 3).

Такой метод измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов делает измерительный процесс более эффективным по сравнению с непрерывным. Это

объясняется регистрацией точки вольт-амперной характеристики только во время подачи импульса. Тем самым ток, протекая через исследуемый объект измерения, с минимальной интенсивностью нагревает полупроводниковый прибор [8, 9].

Комбинированные методы измерения параметров полупроводниковых приборов осуществляются при подаче на объект измерения импульсов, имеющих разную амплитуду, но непрерывных во времени (рисунок 4).

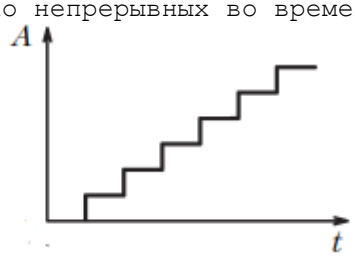


Рисунок 2 – Форма воздействия, прикладываемая к исследуемому объекту при непрерывном методе измерения

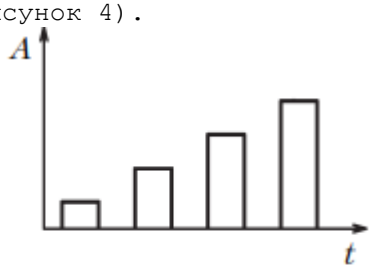


Рисунок 3 – Форма воздействия, прикладываемая к исследуемому объекту при импульсном методе измерения

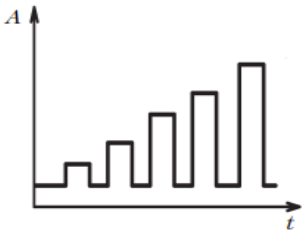


Рисунок 4– Форма воздействия, прикладываемая к исследуемому объекту при комбинированном методе измерения

Комбинированные методы измерения вольт-амперных характеристик в средней мере влияют на разогрев исследуемого прибора, по сравнению с импульсными и непрерывными методами, так как температура при измерительном процессе зависит от подаваемого сигнала.

Классификации по состоянию исследуемого объекта и обработке измерительной информации включают в себя методы с произвольным, изотермическим и изодинамическим состоянием полупроводникового прибора, а также методы с математическим анализом полученной информации.

Достоинство данных методов состоит в простоте аппаратной части, проводящей испытания. Помимо этого, существенным плюсом является компенсация погрешности измерений, что в свою очередь позволяет получить более достоверный результат [6].

Вывод

Приведенная классификация имеет широкий ряд методов измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов. В зависимости от цели исследования может быть выбран тот или иной метод измерения, отличающийся от других степенью автоматизации, быстротой измерительного процесса, достоверностью полученного результата.

В настоящее время наиболее эффективными остаются автоматизированные импульсные методы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baylis C., Dunleavy L. Performing and analyzing pulsed current-voltage measurements // High Frequency Electronics.– 2004.– Vol. 3, N 5.– P. 64–69.

2. Kaczinsky J., Newman D., Gaggl R. Aspects of high power probing // IEEE Semiconductor Wafer Test Workshop.– USA, San Diego.– 2011.

3. Parker A., Scott J., Rathmell J., Sayed M. Determining timing for isothermal pulsed-bias S-parameter measurements // IEEE MTT-S International Symposium Digest.– USA, San Francisco.– 1996.– P. 1707–1710.

4. Scott J., Rathmell J., Parker A., Sayed M. Pulsed device measurements and applications // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.– 1996.– Vol. 44, N 12.– P. 2718–2723.

5. Зинченко Т.О., Печерская Е.А. Анализ методов получения прозрачных проводящих покрытий // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы. Сборник научных статей Всероссийской межвузовской научно-практической конференции. Пенза, 2018. С. 258-260.

6. Голубков П.Е., Печерская Е.А., Козлов Г.В., Александров В.С., Мельников О.А., Зинченко Т.О. Исследование влияния частоты измерительного сигнала на погрешность косвенного измерения свойств оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 1 (39). С. 64-72.

7. Петрянин Д.Л., Юрков Н.К., Романенко Ю.А. Повышение точности расчетов методов аппроксимации // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2016. Т. 1. С. 123-127.

8. Прошина Д.И., Прошин А.А., Горячев Н.В., Юрков Н.К., Баннов В.Я. Fairchild semiconductor - полупроводниковый детектив // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2018. Т. 2. С. 239-241.

9. Тугов Н. М., Глебов Б. А., Чарыков Н. А. Полупроводниковые приборы.– Москва: Энергоатомиздат, 1990.

УДК 658.512.2.011

Саушев[1] А.В., Белов[2] А.М., Бова[3] Е.В.,Широков[4] Н.В.

[1,2,3] Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

[4] Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

[1] saushev@bk.ru

[2] belovsasha1997@mail.ru

[3] elena.bova2015@bk.ru

[4] shirokovn@inbox.ru

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СОСТОЯНИЕМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. Рассматриваются методологические вопросы выбора целевой функции в процессе управления состоянием электротехнических систем. Приведены фундаментальные понятия, связанные с процессом управления состоянием. На примере задачи параметрической оптимизации сформулированы базовые основы методологии оптимизации, которые опираются на введенные постулаты. Показано, что следствием методологии является обоснование выбора запаса работоспособности в качестве целевой функции при решении задачи параметрической оптимизации и всего процесса управления состоянием электротехнических систем.

Ключевые слова: целевая функция, электротехническая система, управление состоянием, запас работоспособности, параметрическая оптимизация

Saushev[1] A.V., Belov[2] A.M., Bova[3] E.V., Shirokov[4] N.V

[1,3,4] Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia

[2] Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russia

[1] saushev@bk.ru

[2] belovsasha1997@mail.ru

[3] elena.bova2015@bk.ru

[4] shirokovn@inbox.ru

ON THE ISSUE OF CHOOSING THE TARGET FUNCTION FOR MANAGING THE STATE OF ELECTRICAL SYSTEMS FOR VARIOUS PURPOSES

Annotation. The methodological issues of choosing the target function in the process of managing the state of electrical systems are considered. The fundamental concepts related to the process of state management are given. Using the example of the parametric optimization problem, the basic foundations of the optimization methodology are formulated, which are based on the introduced postulates. It is shown that the consequence of the methodology is the justification of the choice of the reserve of operability as an objective function in solving the problem of parametric optimization and the entire process of managing the state of electrical systems.

Keywords: objective function, electrical engineering system, condition management, working capacity reserve, parametric optimization

Следуя работам [1–3] введем в рассмотрение основные понятия, характеризующие процесс управления состоянием различных по своему функциональному назначению электротехническим системам (ЭТС).

Состояние – внутренняя определенность (субстрат) ЭТС, характеризуемая в рассматриваемый момент времени признаками, установленными технической документацией на ЭТС, которые являются начальными условиями процессов их дальнейшего изменения.

Данное определение подчеркивает тот факт, что состояние прежде всего определяется совокупностью внутренних свойств ЭТС и их характеристик. Таким образом, можно выделить внутреннее (материально-структурное) состояние, которое характеризуется сочетанием состояния комплектующих элементов системы и ее коммутационного состояния. Коммутационное состояние определяется видом структуры системы и, в частности, положением различных переключающих устройств, связанных с пуском, реверсом, включением нагрузки, блокировки и т. п. Совокупность функциональных свойств и выходных параметров ЭТС в конкретный момент времени определяет его функциональное состояние. Состояние среды влияет на режим работы ЭТС и может быть представлено двумя группами: режимом работы (в узком смысле) и состоянием условий использования, которые определяются атмосферными условиями, степенью "нагруженности" элементов, качеством технического обслуживания и ремонта и т.п.

ГОСТ Р27.102-21 «Надежность в технике» выделяет исправное и неисправное состояние, работоспособное и неработоспособное состояние, частично неработоспособное состояние, рабочее состояние. Для процесса управления состоянием ЭТС

важны и понятия правильного и неправильного функционирования, которые были введены в ГОСТ 20911-75 «Техническая диагностика».

Приведенное определение состояния позволяет различать качественно отличающиеся друг от друга состояния и, в тоже время, подчеркивает, что состояние не является чем-то стабильным, фиксированным, оно непрерывно меняется. Причинами изменения состояния ЭТС являются структурные и параметрические возмущения, последние из которых по своей природе являются непрерывными и изменчивыми. Процесс изменения состояния на этапе эксплуатации ЭТС в полной мере характеризуется марковскими процессами и методологически иллюстрируется графом состояний, рассмотренным в работе [1].

Под управлением состоянием ЭТС будем понимать целенаправленный процесс изменения управляющих воздействий, внутренних параметров и структуры системы с целью предупреждения и устранения отказов ее элементов и достижения оптимального по заданному критерию качества функционирования.

Управление состоянием ЭТС охватывает все этапы и стадии жизненного цикла системы от этапа внешнего проектирования системы до ее утилизации. Одной из важнейших задач управления состоянием ЭТС является задача параметрического синтеза. При условии решения этой задачи каким-то оптимальным способом, требующим выбора критерия оптимальности и построения целевой функции, имеет место задача параметрической оптимизации. Для наглядности изложения методологии выбора целевой функции в процессе управления состоянием ЭТС ограничимся рассмотрением именно этой задачей. На данном этапе в распоряжении исследователя имеется выбранный вариант структуры системы. Имеется совокупность показателей качества и ограничения на их значения, определяющие заданные условия работоспособности. При этом, в отличие от задачи структурного синтеза, число показателей качества ограничено лишь функциональными показателями (показателями назначения), показателями надежности и, в ряде случаев, экономическими показателями. Могут быть также известны весовые коэффициенты, определяющие важность того или иного показателя. Имеется совокупность первичных параметров (параметров комплектующих элементов системы), подлежащих оптимизации и ограничения на значения этих параметров. Аналогично задаче структурного синтеза имеет место многокритериальность, которая определяет данную задачу, как задачу векторной оптимизации.

Анализ многочисленных работ показывает, что трудности, имеющие место при решении векторных задач оптимизации, носят не столько вычислительный, сколько методологический характер. Достаточно часто методология постановки оптимизационных задач сводится к выбору одного из методов математического программирования или построению обобщенного критерия оптимальности [4].

Сформируем базовые основы методологии оптимизации применительно к ЭТС и решаемой задаче. Известно два универсальных научных принципа формирования логических конструкций - дедуктивный и индуктивный. Первый основан на построении логических конструкций от общего к частному, второй - наоборот, от частного к общему. Применительно к рассматриваемой задаче дедуктивный принцип требует разработки универсальной методологии оптимизации, пригодной для систем любой природы и назначения. Индуктивный принцип позволяет формировать методологию оптимизации для какого-то ограниченного класса систем с последующим расширением на другие классы. Этот принцип применительно к ЭТС с учетом реальных возможностей и практической целесообразности, представляется более предпочтительным. В основу методологии положен аксиоматический принцип. Введем в рассмотрение постулаты, являющиеся базисом этой методологии [4, 5].

Постулат 1. Основополагающим постулатом является констатация того факта, что любая ЭТС, принципиально, может характеризоваться двумя обобщенными параметрами - эффективностью (полезностью) и затратами (платой за полезность). Этот постулат логически вытекает из фундаментального философского закона диалектического единства противоположных начал любого объекта познания. Следствиями постулата являются формулировки двух критериев оценки ЭТС - эффективности (Э) и цены (Ц). Критерий цены (КЦ) характеризует ЭТС значением параметра Ц при фиксированном значении параметра Э, а критерий эффективности (КЭ) - значением параметра Э при фиксированном значении параметра Ц. Таким образом, исключается возможность построения одного обобщенного показателя, функциональная зависимость которого от частных критериев (показателей) качества во всех случаях является «произволом» исследователя и не может быть объективной.

Постулат 2. Обобщенные параметры ЭТС могут быть представлены в виде функциональных зависимостей от ее выходных и ресурсных параметров: $Э = Э(Y_1, \dots, Y_j, \dots, Y_m)$, $Ц = Ц(\gamma_1, \dots, \gamma_j, \dots, \gamma_k)$. Под ресурсными понимаются такие параметры системы, которые характеризуют потребление различных ресурсов при ее создании и эксплуатации. Ресурсами являются материалы и средства, расходуемые при проектировании,

изготовлении и техническом обслуживании ЭТС (конструкционные материалы, обрабатывающие механизмы, контрольно-диагностическая аппаратура), носители электроэнергии, рабочее время проектировщиков, изготовителей и обслуживающего персонала и т.п. Эти параметры определяют величину затрат, обозначенных обобщенным параметром Ц.

Постулат 3. Два варианта решения задачи параметрической оптимизации ЭТС полагаются равноэффективными $(Э' = Э'')$ в том случае, когда равны попарно их соответствующие выходные параметры $(Y_j' = Y_j'')$. На основе этого постулата функция $Э = Э(Y_1, \dots, Y_j, \dots, Y_m)$ конкретизируется в форме вектора.

Постулат 4. Ресурсы ЭТС тождественны товарам. Причем любой товар, как экономическая категория, имеет цену, и она может быть установлена. Следствием постулата является конкретизация функции $Ц = Ц(\gamma_1, \dots, \gamma_j, \dots, \gamma_k)$ в форме $Ц = \sum_{s=1}^{k} b_s \gamma_s$, где b_s – стоимость (цена) единицы ресурса (товара) γ_s.

Полученная формула записи функции цены по своей сути принципиально отличается от похожей по форме аддитивной функции записи обобщенного показателя качества, которую вводят с целью скаляризации векторной оценки ЭТС.

Задача оптимизации критерия цены (ОКЦ) налагает на обобщенный параметр Э условие его постоянства: Э=const. Единственно возможным способом удовлетворить это требование является фиксирование всех выходных параметров ЭТС. При этом эффективность можно представить в следующей форме записи:

$$Э=(Y_j=\text{const}),\ j=\overline{1,m}. \qquad (1.12)$$

Задание фиксированных значений Y_j=const, $j=\overline{1,m}$ есть не что иное, как задание вполне определенных, фиксированных потребительских свойств системы. Таким образом, в (1.12) зафиксировано не что иное, как требования потребителя, преследуемая им цель. При этом выражение (1.12) и, следовательно, методология оптимизации, инвариантны относительно величины фиксированного значения цели системы и определяют лишь форму ее задания. Именно в логическом обосновании формы задания цели системы состоит истинный смысл и значение выражения (1.12). Тем самым запрещается любой произвол в этом отношении.

Задача оптимизации критерия эффективности (ОКЭ) предполагает нахождение его максимума. Но эффективность в виде Э представляет собой вектор, а операция оптимизации вектора не имеет смысла. Логически возможны лишь два способа разрешения этого противоречия. Первый из них предполагает переход от векторной формы записи критерия к аналитической. Такой вариант стал принципиально возможным, благодаря исключению из исходного вектора показателей качества показателей, характеризующих плату за полезность. Для этого необходимо назначить цену каждому показателю качества, характеризующему эффективность, а затем, используя свойство аддитивности цены, синтезировать обобщенный показатель качества, который в этом случае становится логически объективным, лишенным произвола исследователя. Такой подход требует дополнительных исследований и основывается на методологической базе, рассмотренной, например, в работе [6].

Во втором варианте единственным логически возможным способом разрешения рассмотренного противоречия является фиксация всех компонент вектора, кроме одного, который и подлежит максимизации. В этом случае обобщенный параметр Э приобретает форму

$$Э = (Y_q, Y_j = const), j = \overline{1,m}, j \neq q, \qquad (1.13)$$

где q – нефиксированный выходной параметр ЭТС.

Выражение (1.13) накладывает на выходной параметр Y_j, j≠q, только требование фиксированности, но оставляет свободу в выборе конкретных значений.

Анализ литературных источников показывает [7], что для многих ЭТС на первое место выдвигается требование высокой надежности. Применительно к решаемой задаче это означает, что в качестве параметра Y_q следует выбрать вероятность безотказной работы или запас работоспособности системы.

Непосредственное использование вероятности безотказной работы в качестве целевой функции при оптимизации первичных параметров ЭТС не всегда эффективно вследствие его малой чувствительности вдали от границ области работоспособности и большой трудоемкости вычислений [4]. При отсутствии статистических данных о распределении параметров элементов ЭТС, этот показатель принципиально не может быть использован в качестве целевой функции.

В качестве целевой функцией при решении задач параметрического управления состоянием ЭТС может быть выбран запас работоспособности λ(X), который позволяет получать любое Парето-оптимальное решение. Доказано, что в области работоспособности, заданной брусом, вероятность $P_i(X)$ обеспечения i-го допускового условия

является неубывающей монотонной функцией $\lambda_i(X)$ и $\max_{X \in G} P_i(X) = P(\lambda_i(X_0))$, $\lambda_i(X_0) = \max_{X \in G} \lambda_i(X)$.

Обобщим полученные результаты на произвольную форму области работоспособности и общего случая, когда имеется m выходных и n первичных параметров. Доказано [], что в точке экстремума минимального запаса работоспособности значение вероятности безотказной работы

$$P_0 = P_т(X_0) = \prod_{i=1}^{n} P_i(X_0) \qquad (1.14)$$

находится в δ-окрестности оптимума этой вероятности, определяемой соотношением:

$$\delta = \hat{P} - P_0 \le 1 - P_{j0}^m, \qquad (1.15)$$

где $\hat{P} = \max_{X \in G} P_т(X) = \max_{X \in G} \prod_{i=1}^{n} P_i(X)$; $P_{j0} = \min_{i \in [1,m]} P_i(\lambda_i(X))$.

В случае неодносвязной формы области работоспособности полученное условие будет справедливо лишь для каждой отдельно взятой подобласти, которым соответствует свой запас работоспособности. Это обстоятельство следует учитывать при разработке методов параметрической оптимизации ЭТС.

Таким образом, для разных законов распределения выходных параметров максимизация выбранной целевой функции, т.е. максимум минимального запаса работоспособности

$$\lambda(X_0) = \max_{X \in \mathbf{G}} \lambda(X) = \max_{X \in \mathbf{G}} \min_{j \in [1,m]} \lambda_j(X), \qquad (1.16)$$

дает близкую к максимальной вероятность безотказной работы системы.

Решение, получаемое по алгоритму (1.16), является Парето-оптимальным решением, обеспечивающим высокую параметрическую надежность и, как следствие, безопасность ЭТС [4, 8]. При этом учитываются показатели назначения ЭТС, стоимости ее изготовления и внешние условия, определяющие возможные уходы выходных параметров, обусловленные нестабильностью первичных параметров в процессе изготовления, хранения и эксплуатации системы.

Для некоторых ЭТС в силу специфики их работы, в качестве целевой функции может быть выбран какой-либо показатель назначения. Однако при этом одним из критериев, на которые накладываются ограничения, должен быть требуемый уровень запаса работоспособности [4].

Важным достоинством предлагаемой целевой функции является ее положительный социальный аспект, который выражается в снижении стрессовых ситуаций для персонала, связанных с отказами электрооборудования и необходимостью принятия мер по их ликвидации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саушев А.В. Основы управления состоянием электротехнических систем объектов водного транспорта. СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. 2015. 215 с.

2. Абрамов О.В. О выборе стратегии оптимального параметрического синтеза в САПР // Надежность и качество сложных систем. 2021. №2 (34). С. 5-12.

3. Саушев А.В. Анализ содержания и путей решения проблемы управления состоянием электротехнических систем объектов водного транспорта // Главный энергетик. 2018. № 8. С. 23 - 58.

4. Саушев А.В. Параметрический синтез электротехнических устройств и систем. СПб.: ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. 2013. 315 с.

5. Саушев А.В., Белоусова Н.В., Бова Е.В. Стратегии формирования целевой функции при параметрическом синтезе автоматизированных электроприводов объектов водного транспорта // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2020. №6(64). С. 1087-1102.

6. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. М.: Радио и связь. 1984. 288 с.

7. Саушев А.В., Бова Е.В., Крюков О.В., Тырва В.О. Показатели качества при структурно-параметрическом синтезе электромеханических систем // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Т. 2- Пенза: ПГУ, 2022. - С. 156 - 161.

УДК 621.3.076

Гуськов[1] В.О., Лавин[2] А.В., Саушев[3] А.В., Самосейко[4] В.Ф.

[1,2,3,4] Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, Россия

[1] vladimir_guskov@inbox.ru

[2] la.work@outlook.com

[3] saushev@bk.ru

[4] samoseyko@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ МОМЕНТОМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ЗАДАННЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ

Аннотация. Рассматриваются вопросы оптимального управления асинхронным электроприводом по критерию максимума электромагнитного момента при заданных ограничениях на другие показатели качества. Показано, что преобразователи электрической энергии, питающие обмотки электрических машин, имеют в своем составе полупроводниковые ключи, на характеристики которых накладываются известные ограничения. Одной из таких характеристик полупроводникового ключа является значение максимального тока, который он может длительно пропускать через себя, не выходя из строя. Получены ограничения на значения этих токов, позволяющих получить максимум электромагнитного момента при заданных ограничениях. Установлено, что для решения задачи необходимо учитывать нелинейность кривой намагничивания магнитопровода асинхронного двигателя. Рассмотрены возможные зависимости, аппроксимирующие кривую намагничивания. Показано, что для решения поставленной задачи следует учитывать заданный запас работоспособности системы управления.

Ключевые слова: электромагнитный момент, асинхронный электропривод, полупроводниковые ключи, запас работоспособности, кривая намагничивания электродвигателя

Guskov[1] V.O., Lavin[2] A.V., Saushev[3] A.V., Samoseiko[4] V.F.

[1,2,3,4]Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia

[1] vladimir_guskov@inbox.ru

[2] la.work@outlook.com

[3] saushev@bk.ru

[4] samoseyko@mail.ru

TORQUE CONTROL OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE UNDER THE SPECIFIED RESTRICTIONS

Annotation. The issues of optimal control of an asynchronous electric drive are considered according to the criterion of the maximum electromagnetic moment under specified restrictions on other quality indicators. It is shown that electric energy converters feeding the windings of electric machines have semiconductor terminals in their composition, the characteristics of which are subject to known limitations. One of these characteristics of a semiconductor key is the value of the maximum current that it can pass through itself for a long time without breaking down. Restrictions on the values of these currents are obtained, which allow to obtain a maximum of the electromagnetic moment at given limits. It is established that in order to solve the problem, it is necessary to take into account the nonlinearity of the magnetization curve of the induction motor magnetic circuit. Possible dependences approximating the magnetization curve are considered. It is shown that in order to solve the task, a given margin of operability of the control system should be taken into account.

Keywords: electromagnetic torque, asynchronous electric drive, semiconductor switches, reserve of operability, magnetization curve of the electric motor

Введение. Преобразователь частоты является важнейшим силовым элементом современного автоматизированного электропривода (АЭП) переменного тока. На его основе формируются и реализуются разнообразные алгоритмы управления приводом. В последние годы самое широкое применение находят системы векторного управления, которые можно условно разделить на системы скалярного и векторного управления. Во всех случаях качество и возможности управления во многом определяются видом и свойствами преобразователя частоты. Топология преобразователей частоты, используемых на практике, достаточно обширна [1]. Существуют две основные группы таких преобразователей: со звеном постоянного тока (классические и каскадные схемы) [2]; непосредственные (матричные) [3]. Каждая из этих групп может быть разделена на отдельные подгруппы. Так, например, преобразователи частоты со звеном постоянного тока можно различать по количеству уровней напряжения, а непосредственные или как их еще называют – матричные преобразователи частоты можно различать по количеству ключей в ячейке матрицы. Вместе с тем, независимо от топологии, все без исключения преобразователи частоты имеют в своем составе электронные полупроводниковые ключи. К основным параметрам таких ключей относят максимальное допустимое значение протекающего по нему тока, максимальное допустимое значение напряжения, которое может быть приложено к ключу, допустимая частота коммутации и т.д. Несмотря на современные уровни развития научной базы полупроводников приборов и применяемых для их создания технологий, значения этих параметров имеют заданные ограничения, которые определяют допусковую область D в пространстве показателей качества электропривода и, как следствие, ограничения на электропривод и его характеристики. Одной из таких характеристик

АЭП является максимальный электромагнитный момент, который может развить двигатель. В работе рассматривается вопрос управления асинхронным двигателем, при котором достигается его максимальный электромагнитный момент при ограничении, наложенном на модуль тока статора при учете заданного запаса работоспособности системы управления.

Материалы и методы

Современные алгоритмы управления асинхронным двигателем, основанные на принципах векторного управления, позволяют обеспечить АЭП быстродействием, высоким качеством переходных процессов и позволяют существенно повысить его энергоэффективность по сравнению с другими известными алгоритмами управления. Принцип действия таких алгоритмов управления основывается на представлении управляемых и контролируемых переменных в виде векторов [4]. При векторном управлении ток статора асинхронного двигателя разделяется на две составляющие - продольную и поперечную. Каждая составляющая имеет свой контур управления. Продольная составляющая называется током намагничивания и имеет обозначение i_d, поперечная составляющая называется током нагрузки и обозначается i_q. Ток статора, токи намагничивания и нагрузки связаны формулой:

$$i_a = \sqrt{i_d^2 + i_q^2},$$

где i_a - модуль вектора тока статора.

Фактически ток i_a - это ток, протекающий по статорным обмоткам и, следовательно, по ключам преобразователя. Как отмечалось выше, на значение этого тока накладываются ограничения.

Электромагнитный момент асинхронного двигателя напрямую связан с токами i_d и i_q следующим выражением:

$$M = L_{dq} \cdot i_d \cdot i_q = \psi_{dq}(i_d) \cdot i_q,$$

где $L_{dq} = L_d - L_q$ есть моментообразующая индуктивность, L_d– продольная индуктивность, L_q– поперечная индуктивность, $\psi_{dq}(i_d)$– продольное потокосцепление машины.

Рассмотрим два случая, которые обычно используются при технической реализации алгоритмов управления.

Вариант 1. Управление электромагнитным моментом без учета нелинейности кривой намагничивания магнитопровода асинхронного двигателя.

В этом случае будем считать, что потокосцепление имеет линейную зависимость от тока намагничивания, а индуктивность L_{dq} является постоянной величиной. Тогда формула электромагнитного момента примет вид:

$$M = L_{dq} \cdot i_d \cdot i_q .$$

Оптимальный ток намагничивания i_{d0}, при котором достигается максимальное значение электромагнитного момента при заданных ограничениях на модуль тока статора i_0 определяется решением уравнения:

$$\frac{d\left(L_{dq} \cdot i_d \cdot \sqrt{i_0^2 - i_d^2}\right)}{di_{d0}}.$$

Максимальный электромагнитный момент при управлении без учета нелинейности кривой намагничивания магнитопровода будет определяться выражением:

$$Mdq_{d0}\sqrt{i_0^2 - i_{d0}}_{max}.$$

При управлении без учета нелинейности магнитопровода асинхронного двигателя значения токов, которые обеспечат максимальный электромагнитный момент, вычисляются аналитически и имеют следующий вид:

$$i_{d0} = \frac{i_a}{\sqrt{2}}, \quad i_{q0} = \frac{i_a}{\sqrt{2}},$$

где i_{d0} и i_{q0} - токи намагничивания и нагрузки, оптимальные по критерию максимума электромагнитного момента.

Рассмотренный алгоритм управления имеет известные недостатки и может привести к значительному перенасыщению машины, что влечет за собой перегрев и снижение показателей долговечности. Кроме того, точность управления снижается, поскольку не учитывается насыщение магнитопровода.

Вариант 2. Управление электромагнитным моментом **с** учетом нелинейности кривой намагничивания магнитопровода асинхронного двигателя.

Электромагнитный момент с учетом кривой намагничивания [5] магнитопровода асинхронного двигателя определяется выражением:

$$M = \psi_{dq}(i_d) \cdot i_q .$$

Оптимальный ток намагничивания i_{dO} при заданных ограничениях на модуль тока статора, при котором достигается максимальное значение электромагнитного момента может быть найден из решения уравнения:

$$\frac{d\left(\psi_{dq}(i_d)\cdot i_{d0}\cdot\sqrt{i_0^2-i_{d0}^2}\right)}{di_{d0}}=0.$$

Таким образом, максимальный электромагнитный момент при управлении с учетом нелинейности кривой намагничивания магнитопровода будет определяться формулой:

$$Mdq_{d0}\sqrt{i_0^2-i_{d0}^2}_{max}.$$

При управлении с учетом нелинейности магнитопровода асинхронного двигателя значения токов, которые обеспечат максимальный электромагнитный момент не могут быть вычислены аналитически, так как функция $\psi_{dq}(i_d)$ является нелинейной. В этом случае целесообразна аппроксимация зависимости $\psi_{dq}(i_d)$.

Вопросы аппроксимации кривых намагничивания различных видов сталей и магнитопроводов достаточно полно изложены в литературе. Наиболее широкое применение находят следующие функции:

$$\psi_{dq}(i_d)=\begin{cases}i_d\cdot a_1, i_d\le i_{d_{НОМ}}\\ i_d\cdot a_2+b, i_d>i_{d_{НОМ}}\end{cases},$$

$$\psi_{dq}^*(i_d^*)=a\cdot arctg(\tfrac{i_d^*}{b}).$$

Для целей аппроксимации кривых намагничивания в работе предлагается использовать функцию

$$\psi_{dq}(i_d)=a\cdot\frac{i_d}{b}\left(1+\left|\frac{i_d}{b}\right|^s\right)^{-\frac{1}{s+c}}$$

где a_1, a_2, b, c, s - коэффициенты аппроксимирующих функции, i_d^* - относительное (базисное) значение тока по оси d.

Рассмотрим управление электромагнитным моментом при ограничении вектора модуля тока на примере электродвигателя со следующими параметрами, заданными в относительных единицах: $i_{d\text{ном}}^*=0{,}325, L_{dq}^*=3{,}072, M_{\text{ном}}^*=0{,}917$. При этом ограничение на ток статора со стороны преобразователя определяется значением $i_0^*=1{,}2$.

При алгоритме управления с постоянным номинальным током намагничивания максимальный электромагнитный момент будет равен току нагрузки, так как:

$$L_{dq}^*\cdot i_{d_{НОМ}}^*=1.$$

Следовательно:

$$M\ \ {}^*_q\sqrt{i_0^{*2}-i_d^{*2}}_{max}.$$

При алгоритмах управления, учитывающих реальную кривую намагничивания магнитопровода для определения максимального электромагнитного момента, как отмечалось выше, необходимо решать уравнение:

$$\frac{d\left(\psi_{dq}(i_d)\cdot i_{d0}\cdot\sqrt{i_0^2-i_{d0}^2}\right)}{di_{d0}}=0.$$

Решить такое уравнение можно только численными методами. В работе для вычислений использовалась система математической алгебры Wolfram Mathematica. Решения с разными аппроксимирующими функциями, рассмотренными выше, представлены в табл. Полученные результаты представлены в относительных единицах.

Таблица.

Вид аппроксимирующей функции	Значение токов намагничивания и нагрузки	M_{max}^*	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$
Кусочно-линейная	$i_d^*=0{,}505;\ \ i_q^*=1{,}08$	1,18	1,28
С помощью функции арктангенса	$i_d^*=0{,}52;\ \ i_q^*=1{,}07$	1,25	1,36
С помощью предложенной, показательной функции	$i_d^*=0{,}499;\ \ i_q^*=1{,}09$	1,26	1,37

Как видно из табл., учет нелинейности при максимизации электромагнитного момента позволяет существенно повысить точность результата расчета. Стоит отметить, что для максимизации электромагнитного момента двигатель необходимо перенасыщать.

Рассмотренный алгоритм управления асинхронным двигателем по критерию максимума электромагнитного момента позволяет расширить его механическую характеристику, тем самым расширив возможности привода и его практическое применение. При этом для реализации предложенного алгоритма не требует никаких финансовых вложений, достаточно только изменить программу управления приводом.

При практическом использовании рассмотренного алгоритма следует учитывать и заданное ограничение на запас работоспособности системы управления АЭП. Как известно [6] запас работоспособности определяется наикратчайшим расстоянием от точки, определяющей состояние рассматриваемой системы в пространстве ее

первичных параметров **X** в данный. Конкретный момент времени, до ближайшей граничной точки области работоспособности ***G***, которая является отображением допусковой области ***D***, в пространство параметров **X**. Рассмотрение данного вопроса применительно к решаемой задаче, выходит за рамки настоящей работы и изложено, например, в работах [7, 8].

Выводы

1. Максимальный электромагнитный момент АЭП с асинхронным двигателем может быть получен при учете нелинейности намагничивания магнитопровода машины. Это позволит расширить ее механическую характеристику и увеличить допустимую нагрузку на электропривод.

2. Работа двигателя с максимальным электромагнитным моментом возможна в кратковременных режимах, так как при этом режиме двигатель работает в режиме перенасыщения, что ведет к его дополнительному перегреву.

3. Для аппроксимации кривой намагничивания магнитопровода рекомендуется использовать тригонометрические или показательные функции.

4. При практическом использовании предлагаемого алгоритма управления электромагнитным моментом асинхронной машины следует учитывать ограничения на запас работоспособности системы управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов И.В., Гельвер Ф.А., Самосейко В.Ф. СПб.: Изд. Крыловский государственный научный центр, 2019. 231 с.

2. Умяров Д.В. Онищенко Г.Б. Каскадные преобразователи частоты в системах электродвижения судов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. №4 (390). С. 163 – 175.

3. Коптяев Е.Н., Евсеев Р. И., Балашевич В. М. Система электродвижения судов на базе матричного непосредственного преобразователя частоты // Вестник евразийской науки. 2015. №2 (27). С. 1 – 11.

4. Самосейко В. Ф. Теоретические основы управления электроприводом. СПб.: Элмор, 2007. 464 с.

5. Кулаев Н.А., Зубков П.С., Дубов Н.В., Артамонов В.Ю. Учет намагничивания асинхронной машины при энергооптимальном управлении // ИВД. 2020. №6 (66). С.

6. Гуськов В.О., Лавин А.В. Сравнительный анализ математических описаний и методов широтно-импульсной модуляции

7. Саушев А.В., Бова Е.В., Крюков О.В., Тырва В.О. Показатели качества при структурно-параметрическом синтезе электромеханических систем // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Т. 2- Пенза: ПГУ, 2022. – С. 156 - 161.

8. Саушев А.В. Задачи управления состоянием настраиваемых электромеханических систем // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Т. 1- Пенза: ПГУ, 2018. – С. 76 - 79.

9. Саушев А.В., Белоусова Н.В. Автоматизация контроля технического состояния электротехнических систем объектов водного транспорта // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Т. 1- Пенза: ПГУ, 2023. – С. 96 - 102.

УДК 621.317.7.089.68

Ильин А.С.
Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
kipra@pnzgu.ru

ВЛИЯНИЕ КОМПОНОВКИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕРКИ КИЛОВОЛЬТМЕТРОВ

Аннотация. Рассмотрено влияние компоновки на стабильность измерений информационно-измерительной системы.
Ключевые слова: информационно-измерительная система, измерение, расположение, стабильность, погрешность

Ilin A.S.
Penza State University, Penza, Russia
kipra@pnzgu.ru

EFFECT OF LAYOUT ON ACCURACY INFORMATION-MEASURING SYSTEM CALIBRATION OF KILOVOLTMETERS

Annotation. The influence of the layout on the measurement stability of the information and measurement system is considered.
Keywords: information-measuring system, location, measurement, stability, error

В настоящее время для метрологического обеспечения высоковольтных средств измерения (СИ) к информационно-измерительным системам (ИИС) предъявляются повышенные требования по временной стабильности [1]. Стабильность ИИС зависит не только от стабильности компонентов узлов и блоков, но и от компоновки системы, расположения линий связи и заземляющего контура, защитного экранирования потенциально чувствительный цепей и узлов [2]. Поэтому задача создания ИИС поверки киловольтметров со стабильностью результата измерения в 0,01% привела к необходимости подбора компоновки с минимальной неизменностью во времени ее метрологических характеристик.

При расположении в одной плоскости, каждый блок системы находится на равном удалении друг от друга. На рис.1 изображена схема №1 подключения блоков ИИС.



Рисунок 1 – Схема №1 подключения блоков ИИС

Для проведения исследования в качестве источника высокого напряжения выбран калибратор Fluke 5522a. В качестве цифрового вольтметра – Fluke 8846a. В схеме ИИС установлен образцовый делитель напряжений высоковольтный ДНВ.

На вход делителя напряжения с калибратора подается образцовое напряжение 1000 В. Результат измерения фиксируется цифровым вольтметром. Длительность измерения составила 6 часов.

Результаты измерения показали, что данное расположение приборов и проводников, а также заземление влияет на колебания погрешности 0,01%. В соответствии с заданием, необходимо обеспечить стабильность результата измерения в 0,01%. В данном случае нестабильность результата измерения с точностью в 0,01% от 0 В составляет 0,0004 В, что соответствует 0,04%. Поэтому необходимо устранить данный уход в 0,04% путем изменения схемы подключения блоков и проводников, а также иное подключение к заземляющей шине.

Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть иной вариант компоновки.

Рассмотрена этажерочная компоновка, где каждый блок системы находится вертикально параллельно друг другу [3]. Такая компоновка также позволит сократить длину линий связи, тем самым уменьшив фактор наведения различных помех. Кроме того, следует заземлить все имеющиеся блоки ИИС в одну точку, тем самым убрав большие и лишние контура в цепи заземления. Применяя данный вид компоновки, для обеспечения правильного теплового режима [4], не влияющего на результат

измерения, блоки следует располагать на каждой отдельной полке стеллажа. На рис.3 изображена схема №2 подключения блоков ИИС.

При данной компоновке блоков и проводников, а также заземлении результаты измерения показали, что нестабильность от 0 В составляет 0,00005 В, что соответствует 0,005%. В данном случае результат измерения удовлетворяют заданную погрешность 0,01%.

Анализ полученных результатов показывает, что длина проводников заземления блоков не должна превышать 500 мм. Для защиты от нежелательных помех измерительные проводники длиной не более 1 м должны быть экранированны.

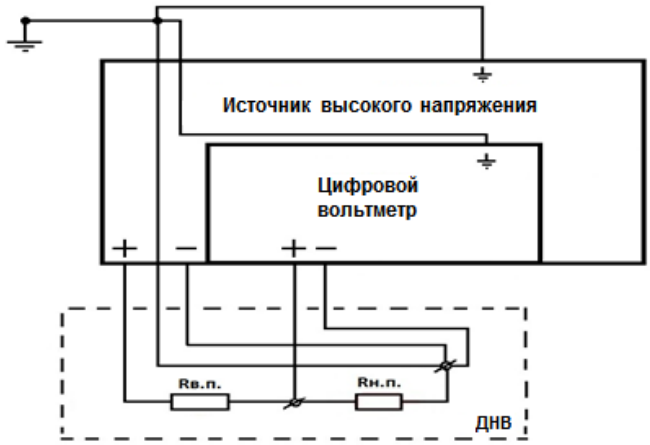


Рисунок 3 – Схема №2 подключения блоков ИИС

В результате для ИИС поверки киловольтметров в части низковольтного напряжения (НН) был выбран данный вариант компоновки (рис.4). В целях безопасности и экранировании от внешних помех высоковольтная часть (ВН) располагается в защитном экране.

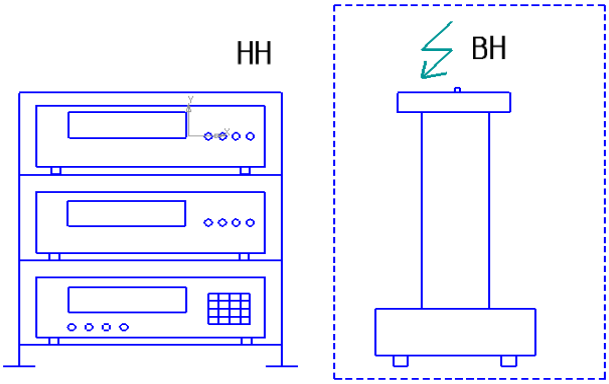


Рисунок 4 – Компоновка ИИС поверки киловольтметров:
НН – низковольтная часть; ВН – высоковольтная часть

Заключение

- для выполнения задачи разработки и изготовления ИИС поверки киловольтметров выбрана оптимальный вариант компоновки блоков, при которой можно добиться максимальной стабильности результата измерения;
- результаты исследования легли в основу разработанной ИИС поверки киловольтметров УПК-30ПТ [5];
- разработанная ИИС соответствует всем требованиям и внесена в Госреестр № 77593-20 [6].
- положительные результаты работы открывают возможность реализации ИИС с рабочими напряжениями свыше 100 кВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раннев, Г. Г. Измерительные информационные системы / Г. Г. Раннев. – Москва : Академия, 2010
2. Стабильность средства измерения. URL: https://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=579495
3. Радиоэлектронные блоки. URL: http://korpusa-trekom.ru/radioelektronnye-bloki.html
4. Ромащенко М. А. Разработка методики компоновки блоков РЭС с учетом электромагнитных и тепловых характеристик / М. А. Ромащенко, А. П. Стрельцов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т.14. – № 5. – С. 95-100.
5. Ильин А. С. Установка для поверки киловольтметров УПК-30ПТ / А. С. Ильин, И. А. Кострикина, А. П. Воронов, Р. Ф. Плаксунов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 4 (34). – С. 44–50. – DOI 10.21685/2307-5538-2020-4-5.
6. Установка для поверки киловольтметров УПК-30ПТ. Описание типа СИ. Номер в ГРСИ РФ: 77593-20. URL: https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/1140753

УДК 621.317.7.089.68

Ильин[1] А.С., Юрков[2] Н.К., Трусов[3] В.А.
[1,2,3] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1] kipra@pnzgu.ru

ВЫБОР ОБРАЗЦОВОГО МАСШТАБНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОВЕРКИ КИЛОВОЛЬТМЕТРОВ

Аннотация. Рассматривается выбор образцового масштабного преобразователя высокого напряжения.
Ключевые слова: масштабный преобразователь, информационно-измерительная система, измерение, время, погрешность

Ilin[1] A.S., Yurkov[2] N.K., Trusov[3] V.F.
[1,2,3] Penza State University, Penza, Russia
[1] kipra@pnzgu.ru

SELECTING OF AN EXEMPLARY SCALE HIGH VOLTAGE CONVERTER FOR INFORMATION-MEASURING SYSTEM CALIBRATION OF KILOVOLTMETERS

Annotation. The choice of an exemplary high-voltage scale converter is considered.
Keywords: scale converter, information-measuring system, measurement, time, error

В информационно-измерительной системе (ИИС) поверки киловольтметров особое внимание необходимо уделить первичному высоковольтному преобразователю напряжения [1]. Делитель напряжений высоковольтный (ДНВ) является образцовым блоком ИИС, поэтому от него зависит работа и точность системы. Необходимо выбрать оптимальный вариант ДНВ для применения в ИИС поверки киловольтметров. Для это проводятся сравнительные замеры и снимается характеристика разработанного и изготовленного образцового делитель напряжения ДНВ-30, а также имеющихся делителей напряжений других фирм [2]. Сравнительный анализ проводится с использованием делителя напряжений В7-40 фирмы ЧУП «Завод СВТ» (Беларусь) и HVD-100 фирмы SPELLMAN (США).

Для сравнительных замеров собран макет ИИС поверки киловольтметров, работающей в ручном режиме. В качестве источника высокого напряжения выбран Spellman SMS 40N60. Источником питания 24 В для него служит источник ЛИПС-2-30. Управляющее напряжение на Spellman подается с компаратора напряжений Р3003. Цифровой мультиметр Fluke 8846a измеряет напряжение с выхода образцового делителя ДНВ-30. Также подключается цифровой вольтметр В7-40 с высоковольтным делителем напряжения [3]. На рис.1 представлена электрическая схема макета ИИС поверки киловольтметров.

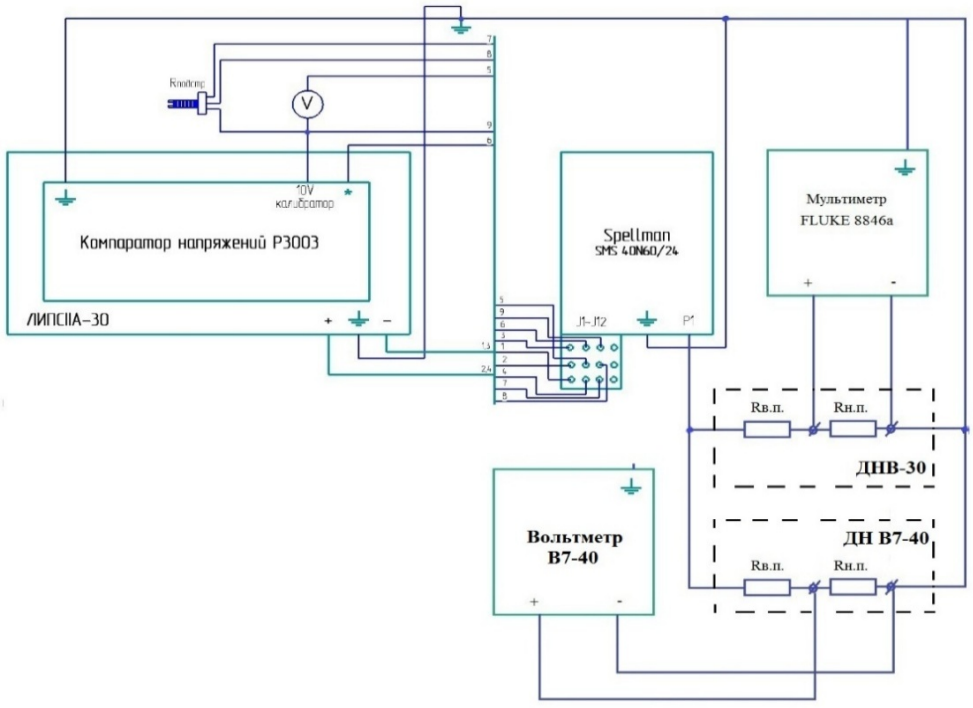


Рисунок 1 – Электрическая схема макета ИИС поверки киловольтметров

Определяется зависимость относительного отклонения значения измеряемого напряжения от времени (60 мин.) приложенного высокого напряжения (10, и 30 кВ).

На рис.2-3 представлены графики зависимости при подключении ДНВ-30 и В7-40 при напряжении 10 и 30 кВ.

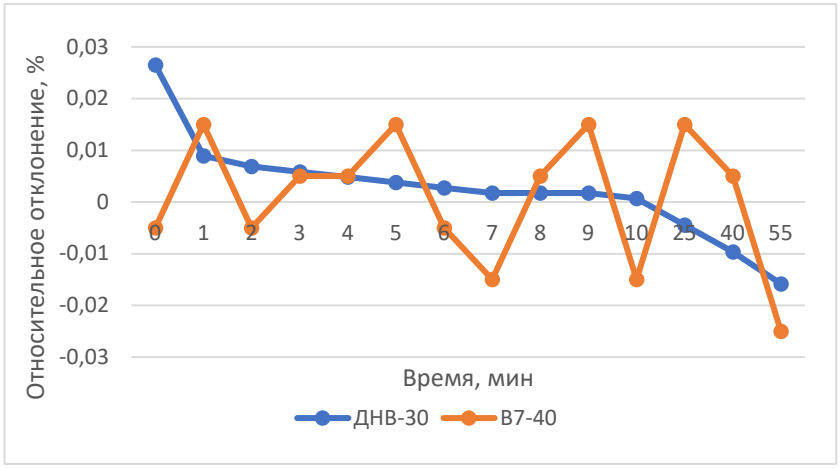


Рисунок 2 – Относительное отклонение (В7-40) при напряжении 10 кВ

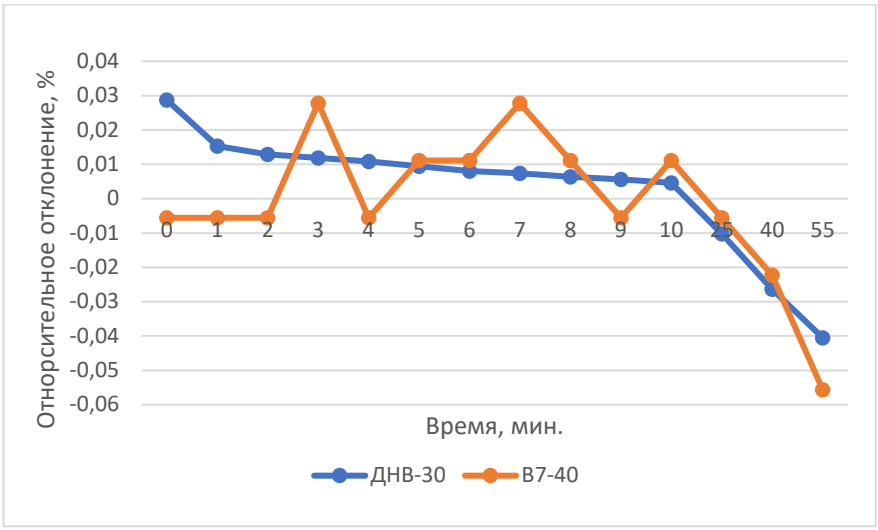


Рисунок 3 – Относительное отклонение (В7-40) при напряжении 30 кВ

На приведенных графиках видно, что делитель напряжения В7-40 имеет большую нелинейность относительного отклонения в зависимости от времени воздействии высокого напряжения разной амплитуды. Для создания метрологического оборудования требуется минимальная нелинейность. В данном случае делатель напряжения В7-40 уступает образцовому делителю.

Далее ДНВ-30 сравнивается с делителем напряжения HVD-100 [4]. Схема ИИС прежняя. На рис.4-5 изображены сравнительные графики зависимости ДНВ-30 и HVD-100 при том же уровне амплитуды напряжений.

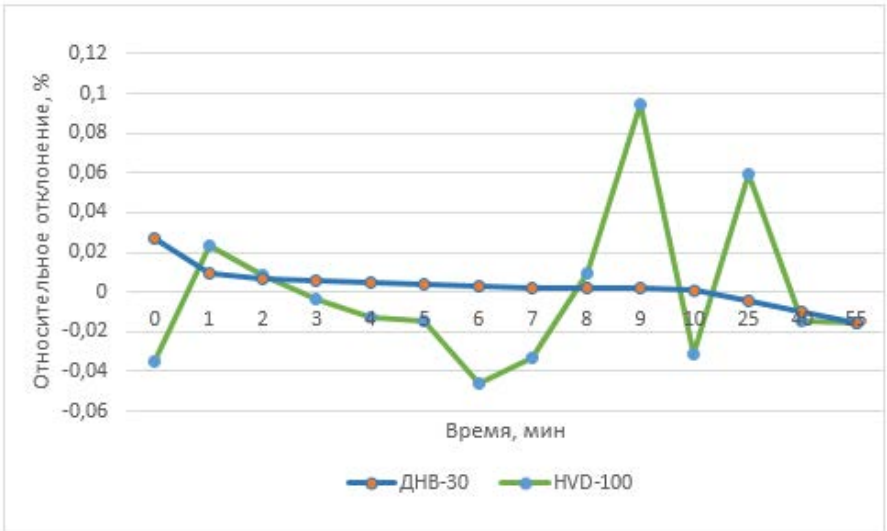


Рисунок 4 – Относительное отклонение (HVD-100) при напряжении 10 кВ

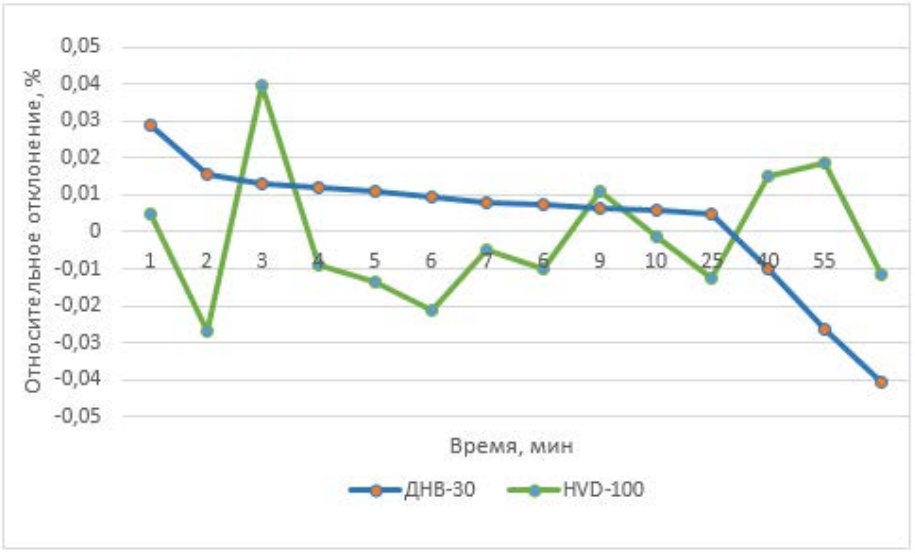


Рисунок 5 – Относительное отклонение (HVD-100) при напряжении 30 кВ

Результаты измерений также показывают значительную нелинейность относительного отклонения результата измерения с делителем напряжения HVD-100 в зависимости от времени приложенного высокого напряжения.

В результате анализа полученных графиков в качестве образцового делителя напряжения для ИИС выбран делитель ДНВ-30, имеющий минимальную нелинейность. Погрешность измерения в ИИС в данном случае при напряжении 10, 20 и 30 кВ представлено на рис.6.

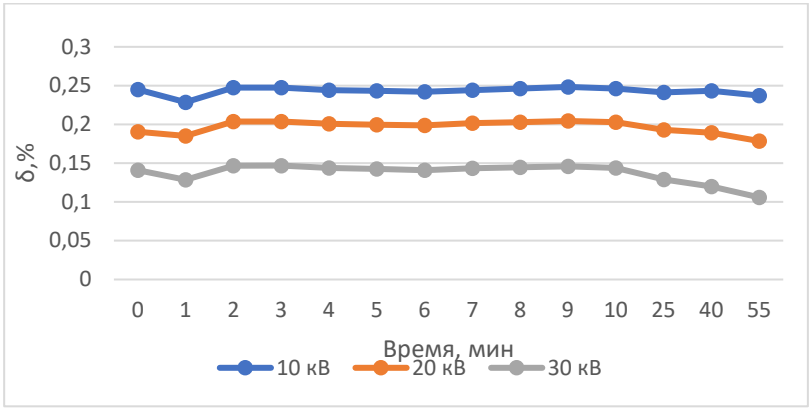


Рисунок 6 – Относительное отклонение образцового ДНВ-30

В результате проведенного исследования, из ряда имеющихся делителей напряжений разных фирм, выбран образцовый делитель напряжения ДНВ-30 для применения в ИИС поверки киловольтметров, имеющий минимальную временную нестабильность. Делитель является составным блоком разработанной ИИС поверки киловольтметров УПК-30ПТ [5]. Решение задачи минимизации зависимости относительной погрешности измерения ИИС от времени проведения измерений решается в статье «Исследование влияния режимов работы на погрешность измерения установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ», путем выбора соответствующего режима работы ИИС [6]. Положительные результаты работы дают перспективу разработки и применения подобных первичных высоковольтных преобразователей в ИИС поверки киловольтметров свыше 100 кВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раннев, Г. Г. Измерительные информационные системы / Г. Г. Раннев. – Москва : Академия, 2010
2. Шваб А. Измерения на высоком напряжении. М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Делитель напряжения высоковольтный для В7-40. URL: https://korolev.prompor-tal.su/goods/25146262/dnv-delitel-napryazheniya-visokovoltniy-dlya-v7-40.htm
4. Spellman HVD Series Resistive voltage dividers / Products / Spellman High Voltage Electronics Corporations. URL: https://www.spellmanhv.com/en/high-voltage-power-supplies/HVD
5. Ильин А. С. Установка для поверки киловольтметров УПК-30ПТ / А. С. Ильин, И. А. Кострикина, А. П. Воронов, Р. Ф. Плаксунов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 4 (34). – С. 44–50. – DOI 10.21685/2307-5538-2020-4-5.
6. Исследование влияния режимов работы на погрешность измерения установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ / А. С. Ильин, Р. Ф. Плаксунов, А. П. Воронов, И. А. Кострикина // Надежность и качество сложных систем. – 2020. – № 4 (32). – С. 109–114. – DOI 10.21685/2307-4205-2020-4-12.

УДК 381

Балыбердин[1] Ю.А., Резчикова[2] Е.В., Соловьев[3] В.А., Фан[4] К.Ф.

[1,2,3,4] Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

[1] info_gcpp@mail.ru

[2] rezchikova.len@yandex.ru

[3] volodimer@bmstu.ru

[4] phongdo.pbc@gmail.com

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТЕЙ

Аннотация. В данной работе проведен обзор и анализ применения метода морфологического ящика в контексте разработки и управления системой контроля жидкости. В центре внимания находится последовательность операций, выполняемых при морфологическом анализе, таких как определение признаков, выявление вариантов реализации, построение морфологической матрицы и перебор вариантов. Цель исследования заключается в представлении метода морфологического анализа как эффективного инструмента в оптимизации системы параметров контроля жидкости за счет генерации множества вариантов технического решения устройства контроля.

Ключевые слова: морфологический анализ, система контроля параметров жидкости, оптимизация, последовательность операций

Baliberdin[1] Yu.A., Rezchikova[2] E.V., Soloviev[3] V.A., Phan[4] K.P.,

[1,2,3,4] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

[1] info_gcpp@mail.ru

[2] rezchikova.len@yandex.ru

[3] volodimer@bmstu.ru

[4] phongdo.pbc@gmail.com

MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF LIQUID PARAMETERS CONTROL OPTIONS

Annotation. This study presents a review and analysis of the application of the morphological box method in the context of liquid control system development and management. The focal point of our investigation is the sequence of operations conducted during morphological analysis, including tasks such as feature determination, identification of implementation alternatives, construction of a morphological matrix, and thorough exploration of potential options. The research aims to establish the morphological analysis method as an effective tool for optimizing liquid control system parameters by generating a multitude of technical solution alternatives, thereby contributing to the refinement of control device functionality.

Keywords: morphological analysis, liquid parameter control system, optimization, sequential operations

Введение

Объектом исследования данной работы является методика применения морфологического анализа [1] для повышения эффективности разработки системы контроля жидкости. В современном контексте разработки технологий вопросы оптимизации играют ключевую роль, и морфологический анализ представляет собой мощный инструмент для анализа и выбора оптимальных решений из полученного морфологического множества.

Система контроля жидкости представляет собой важный элемент в различных промышленных и технологических процессах. Ее задачей является обеспечение стабильности, точности и надежности управления жидкостью в разнообразных системах, начиная от промышленных установок до бытовых приложений. Применение систем контроля жидкости становится всё более актуальным с развитием технологий и повышением требований к точности управления процессами.

Целью исследования является представление последовательности операций морфологического анализа и их применения в области систем контроля жидкости. Задачи исследования включают в себя рассмотрение основных этапов морфологического анализа, выявление влияния данного метода на оптимизацию системы контроля жидкости, а также представление практических примеров его успешного применения.

Эта работа направлена на понимание и демонстрацию эффективности морфологического анализа в контексте системы контроля жидкости, предоставляя практические навыки и перспективы для разработчиков и инженеров в данной области.

1. Система контроля параметров жидкости

Система контроля параметров жидкости представляет собой высокотехнологичное комплексное устройство, нацеленное на непрерывный и точный мониторинг, анализ и регулирование различных параметров жидкости в разнообразных технических проектах. Эта система выступает в качестве ключевого элемента в обеспечении эффективности и безопасности различных технологических процессов, где жидкость играет важную функциональную роль.

Одной из основных задач системы контроля параметров жидкости является обеспечение стабильности производственных процессов. Путем постоянного мониторинга

таких характеристик, как уровень, температура, а также состав жидкости, система активно регулирует параметры в соответствии с заданными стандартами. Это предотвращает возможные отклонения и поддерживает желаемые условия, обеспечивая тем самым бесперебойную и оптимизированную работу.

Контекст использования системы контроля параметров жидкости разнообразен, включая производственные линии, энергетические установки, химическую промышленность, системы водоснабжения и другие области. Эта система является неотъемлемой частью инфраструктуры, где важна точная регуляция и поддержание условий, связанных с использованием жидкости.

Система также играет ключевую роль в обеспечении безопасности. В случае обнаружения потенциальных угроз или непредвиденных изменений, она моментально реагирует, предотвращая возможные аварии или сбои в системе. Это способствует минимизации рисков и повышению уровня надежности технологических процессов.

Таким образом, система контроля параметров жидкости представляет собой необходимую технологическую деятельность, направленную на обеспечение стабильности, эффективности и безопасности в устройствах, где важно наличие жидкости и управление ее параметрами.

2. Морфологический анализ

Морфологический анализ МА (метод морфологического ящика ММЯ или метод Ф. Цвикки) представляет собой метод исследования, направленный на выявление структурных элементов и характеристик объекта для более глубокого понимания его состава и функционирования. Этот метод позволяет систематизировать разнообразие параметров и фактов, ускоряя процесс ориентации в сложных системах.

Автор метода, Ф. Цвикки [2], швейцарский астроном и астрофизик, разработал метод морфологического анализа в 1942 году, начав его применение при разработке ракетных двигателей. Этот метод позволяет обнаруживать все возможные варианты решения проблем.

Морфологический анализ находит широкое применение в поиске решений с четким алгоритмом. Метод классификации способствует быстрому и точному ориентированию в множестве понятий и фактов, делая его важным элементом творческой деятельности.

Морфологический анализ может разделить на четыре этапа [3]:

Этап 1. Определение признаков или параметров, влияющих на решение задачи;

Этап 2. Выявление возможных вариантов реализации параметров;

Этап 3. Построение морфологической матрицы (морфологического ящика);

Этап 4: Перебор вариантов, оценка их и выбор наилучших (или новых) решений.

Система обычно состоит из синтеза нескольких отдельных подсистем, каждая из которых может быть реализована несколькими различными способами. МА позволяет проводить систематическую категоризацию и оценку возможных альтернативных комбинаций подсистем. Следовательно, МА может быть определен как концептуальный метод моделирования для структурирования и анализа технологических, организационных и социальных проблем, разбивая объект на несколько основных измерений.

Основным компонентом МА является морфологическая матрица [5]. Морфологическая матрица представляет собой инструментарий анализа и структурирования информации в рамках метода морфологического анализа. Эта матрица представляет собой таблицу, в которой строки и столбцы соответствуют различным параметрам или характеристикам, которые могут влиять на решение проблемы. Через морфологическую матрицу можно выделить тысячи вариантов не повторяющих друг друга вариаций решений задачи, которые необходимо рассмотреть для выявления полезного системного эффекта или системного качества [6]. Задача инженера заключается в том, чтобы найти наилучшие подходящие решения и области их применения в пределах возможностей по ресурсам и конструкторско-технологическим ограничениям [7 - 14].

3. Проведение морфологического анализа вариантов системы контроля параметров жидкостей

Этап 1: Определение признаков

Для проведения морфологического анализа вариантов системы контроля параметров жидкостей, первым шагом является определение ключевых признаков, которые оказывают влияние на функционирование системы.

Система контроля параметров жидкости может быть направлена на измерение основных параметров, таких как уровень и температура, в то время как другие предоставляют более широкие возможности, включая контроль давления, расхода, плотности, химического состава жидкости и др. В системе контроля жидкости почти всегда присутствует датчик уровня. Датчик уровня может контактировать с жидкостью или не контактировать. Он полезен при измерении как расхода, так и уровня жидкости. Другие типы датчиков могут требовать контакта с жидкостью и будут

спроектированы в зависимости от потребностей пользователя. Еще один важный признак — это тип жидкости. Он оказывает значительное влияние на конструкцию системы и выбор подходящего датчика. Также необходимо рассмотреть другие параметры при проектировании технологической системы, такие как микроконтроллер, пользовательский интерфейс и интерфейс передачи данных.

В общем, предлагаемые признаки для морфологического анализа системы контроля жидкостей включают: тип жидкости, тип датчика уровня, микроконтроллер, интерфейс передачи данных, интерфейс пользователя.

Этап 2: Выявление возможных вариантов реализации признаков

Признак объекта	Варианты реализации признаков			
	1	2	3	4
А Микроконтроллер	А1 Atmega328	А2 STM32	А3 ESP8266	А4 ESP32
Б Тип датчика уровня	Б1 Емкостный датчик уровня	Б2 Гидростатический датчик уровня	Б3 Поплавковый датчикуровня	Б4 Ультразвуковой и радарный датчики уровня
В Интерфейс передачи данных	В1 по проводу к экрану	В2 Bluetooth	В3 RS485	В4 Wi-Fi
Г Тип жидкости	Г1 Вода	Г2 Пищевая жидкость	Г3 Нефтепродукт	Г4 Химические вещества
Д Интерфейс пользователя	Д1 Веб-приложения	Д2 Мобильное приложение, Приложение для ПК	Д3 Экран монитора	

Этап 3: Построить "морфологический ящик"

А1	А2	А3	А4
Б1	Б2	Б3	Б4
В1	В2	В3	В4
Г1	Г2	Г3	Г3
Д1	Д2	Д3	

Общее количество полученных решений в данном случае - 768, рассчитывается умножением вариантов для каждого признаков (4 × 4 × 4 × 4 × 3).

Этап 4: Выбор наиболее полезных потенциальных вариантов

Схема общего блока системы контроля параметров жидкости представлена на рис. 1.

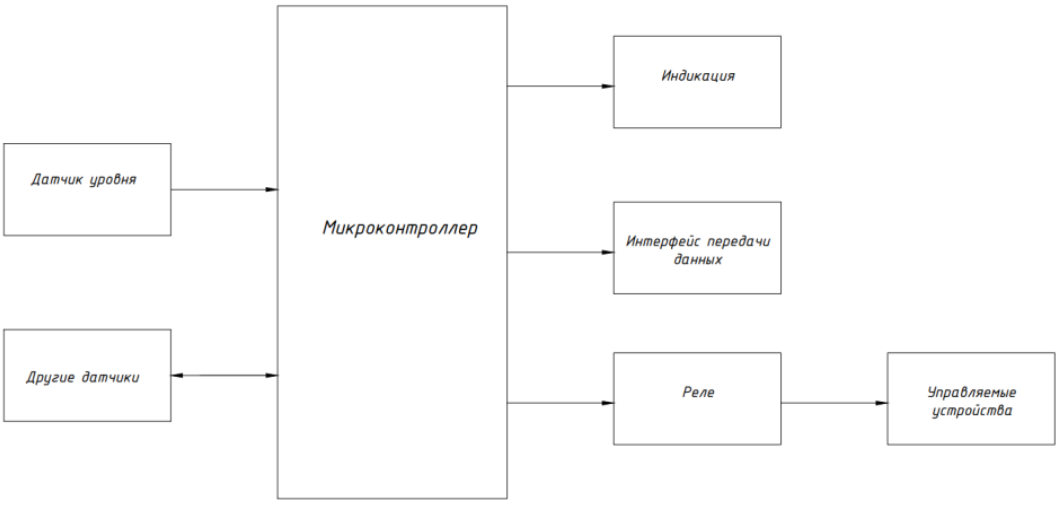


Рисунок 1 - Схема общего блока системы контроля параметров жидкости

В данной схеме реле выполняет функцию включения и выключения управляемых устройств (например, насоса, подогревателя и т. д.) в зависимости от данных, полученных от датчиков. Для других типов датчиков, помимо датчика уровня, выбор зависит от вида жидкости и потребностей пользователя, и может быть разнообразным.

В связи с объемом морфологической таблицы мы не будем приводить её здесь, однако обсудим наиболее полезные потенциалы, основанные на ней.

Вариант 1:

Микроконтроллер: Atmega328

Тип датчика уровня: Поплавковый датчик уровня

Интерфейс передачи данных: по проводу к экрану (визуальное отображение результатов прямо на месте)

Тип жидкости: Вода

Интерфейс пользователя: Экран монитора

Это простейшая система, использующая датчик уровня и микроконтроллер с низкой стоимостью и простотой проектирования (см. рис. 2). В дополнение к поплавковому датчику уровня, в систему также могут входить и другие распространенные датчики, такие как температурный датчик. Система предназначена для контроля уровня воды на определенном уровне и визуального отображения результатов прямо на месте, без необходимости передачи данных на дальние расстояния. Система может применяться в плавательных бассейнах или в резервуарах для жилых помещений.

Вариант 2:

Микроконтроллер: ESP32

Тип датчика уровня: Гидростатический датчик уровня

Интерфейс передачи данных: Bluetooth

Тип жидкости: Вода

Интерфейс пользователя: Мобильное приложение, Приложение для ПК

Эта система более сложная по сравнению с первой, использующая гидростатический датчик уровня и микроконтроллер ESP32 (см. рис. 3). Микроконтроллер ESP32 имеет встроенный модуль Bluetooth. В данном случае, мобильное приложение и приложение для ПК обеспечивают удобный интерфейс для отслеживания и управления параметром воды через беспроводное соединение Bluetooth. Из-за ограниченной дальности действия Bluetooth подходит только для индивидуальных потребностей. Однако Bluetooth потребляет меньше энергии, поэтому система может поддерживать длительное время работы с ограниченным источником энергии, таким как батарея.

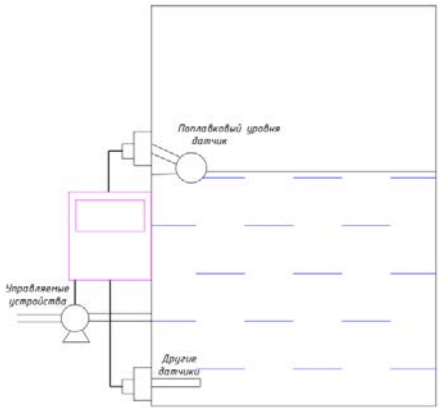


Рисунок 2 - Схема установки варианта 1

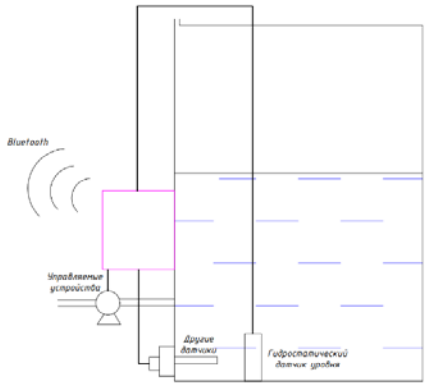


Рисунок 3 - Схема установки варианта 2

Гидростатический датчик уровня измеряют уровень жидкости, вычисляя разницу давлений между давлением воды, действующим на поверхность контакта датчика, и давлением воздуха внутри резервуара. На схеме установки варианта 2 используется погруженный гидростатический датчик для измерения уровня жидкости в открытом резервуаре. В этом случае давление внутри резервуара будет равно атмосферному.

Вариант 3:

Микроконтроллер: STM32

Тип датчика уровня: Гидростатический датчик уровня

Интерфейс передачи данных: RS485

Тип жидкости: Пищевая жидкость

Интерфейс пользователя: Приложение для ПК

Система использует гидростатический датчик уровня и микроконтроллер STM32 с интерфейсом RS485 в качестве интерфейса передачи данных (см. рис. 4). Поскольку тип жидкости является пищевой жидкостью, резервуар должен быть закрытым. Это приводит к необходимости измерения давления в двух точках: внутри жидкости и воздуха в резервуаре. Система может включать в себя дополнительные датчики для контроля состава пищевой жидкости, а также температуры. STM32 — это мощный микроконтроллер, в сочетании с интерфейсом RS485, обеспечивает передачу данных на большие расстояния с высокой точностью. Интерфейс пользователя через

компьютер обеспечивает эффективное управление информацией. Такая система предназначена для контроля параметров пищевой жидкости и может использоваться в промышленных условиях.

Вариант 4:

Микроконтроллер: ESP8266

Тип датчика уровня: Ультразвуковой и радарный датчики уровня

Интерфейс передачи данных: Wi-Fi

Тип жидкости: Химические вещества

Интерфейс пользователя: Веб-приложения

С учетом того, что жидкость является химическим веществом, выбор ультразвукового датчика обеспечит эффективность за счет возможности измерения расстояния без контакта с жидкостью (см. рис. 5). Ультразвуковой датчик определяет расстояние путем расчета времени прохождения звуковой волны. С использованием микроконтроллера ESP8266 передача данных легко осуществляется по Wi-Fi. Веб-приложение позволяет пользователям получать доступ и контролировать информацию о системе в любом месте, где есть доступ к интернету. Система может быть применима во многих областях, таких как лабораторные исследования и необходимые реактивы, производство лекарственных компонентов и промышленные жидкости, а также жидкое топливо.

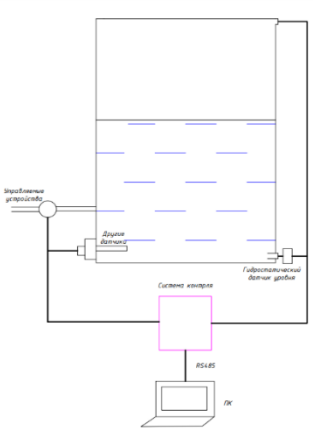


Рисунок 4 - Схема установки варианта 3

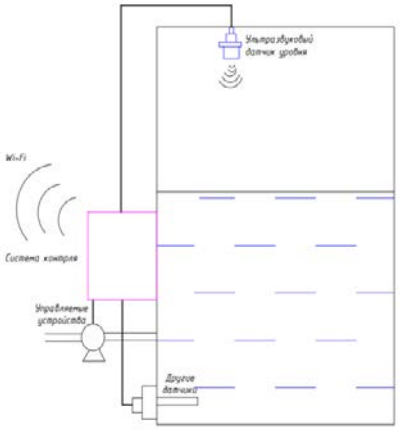


Рисунок 5 - Схема установки варианта 4

Вариант 5:

Микроконтроллер:ESP32

Тип датчика уровня: Ультразвуковой и радарный датчики уровня

Интерфейс передачи данных:Wi-Fi

Тип жидкости: Химические вещества

Интерфейспользователя: Веб-приложения

Аналогично четвертому варианту, но с использованием более мощного микроконтроллера ESP32. У ESP32 есть больше GPIO-пинов по сравнению с ESP8266, а также дополнительные функции, такие как многозадачность на уровне ядра процессора. Это позволяет системе контролировать большее количество датчиков одновременно и обеспечивает более высокую скорость обработки данных.

Вариант 6:

Микроконтроллер: STM32

Тип датчика уровня: Емкостный датчик уровня

Интерфейс передачи данных: RS485

Тип жидкости: Нефтепродукт

Интерфейс пользователя: Приложение для ПК

В ряде случаев требуется контролировать уровень жидкой среды, которая может негативно повлиять на работу измерительного датчика.

В данной системе необходимо измерять нефтепродукт, поэтому используется емкостный датчик уровня. Причина в том его эксплуатация в агрессивных, опасных жидкостей допускается. Емкостный датчик уровня работает на основе изменения емкости датчика, излучаемой под воздействием уровня среды (см. рис. 6). Остальные части аналогичны варианту 3, что делает его удобным для применения в промышленных условиях.

Шесть вариантов, рассмотренных выше, представляют собой лишь простые варианты. Сложная комбинированная система может включать в себя различные варианты для каждого признака. Например, система может передавать беспроводные данные через Wi-Fi и также передавать проводные данные по RS485. Или же система может

включать в себя как экран монитора, так и приложение для телефона, компьютера, а также веб-приложение.

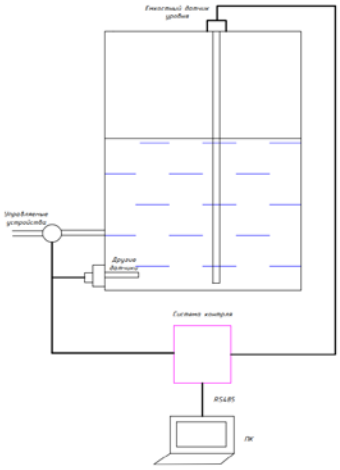


Рисунок 6 - Схема установки варианта 6

Заключение

В заключение можно отметить, что морфологический анализ вариантов контроля параметров жидкостей предоставляет систематический подход к решению проблемы выбора оптимальной системы. Рассмотренные шесть вариантов демонстрируют разнообразие возможных решений и их адаптацию к конкретным условиям, таким как тип жидкости, цель использования и доступные технологии. Наличие большого количества вариантов создает предпосылки гибкого и оперативного принятия решения о необходимом устройстве контроля. Важным выводом является то, что выбор системы контроля параметров жидкостей должен быть ориентирован на конкретные потребности и требования пользователя. Например, в зависимости от среды, где применяется система, можно выбрать различные типы датчиков, интерфейсов передачи данных и микроконтроллеров.

Морфологический анализ позволяет структурировать и анализировать множество признаков, ускоряя процесс выбора оптимального решения. Этот метод может быть ценным инструментом для инженеров, проектировщиков и всех, кто сталкивается с задачей выбора технических решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Одрин В. М., Картавов С. С. Морфологический анализ систем. Построение морфологических таблиц - Киев: Наукова думка, 1977.
2. F. Zwicky Discovery Invention // Research Through the Morphological Approach, McMillan, 1969.
3. Резчикова Е. В. Семинар-практикум «Метод морфологического ящика (ММЯ)» по предмету «Защита интеллектуальной собственности» - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. 10 с.
4. Резчикова Е.В., Жукова А.А., Долуханян А.М., Соловьев В.А. Морфологический подход к анализу многослойных печатных плат со встроенными компонентами // Технологии инженерных и информационных систем, 2020, №1.71-82с.
5. Ревенков А.В., Резчикова Е.В. Теория и практика решения технических задач: Учебное пособие: Изд-е 4-е. - М.: ФОРУМ. 2020.
6. Жалнин В.П., Филин И.А., Соловьев В.А. Морфологический подход к выбору ресурсов для проектирования измерительного стенда // Технологии инженерных и информационных систем. 2023. № 1. С. 47 – 63.
7. Артемьев Б.В., Артемьев И. Б., Владимиров Л. В., Власов А.И. Мониторинг систем неразрушающего контроля на производстве // Контроль. Диагностика. 2019. № 2. С. 44 – 50.
8. Камышная Э. Н., Маркелов В. В., Соловьев В. А. Конструкторско-технологические расчеты электронной аппаратуры: Уч. пособие - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. - 165 с. : ил.
9. Журавлева Л.В., Власов А.И. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). С. 133-140.
10. Vlasov A.I., Juravleva L.V., Shakhnov V.A. Visual environment of cognitive graphics for end-to-end engineering project-based education // Journal of Applied Engineering Science. 2019. Т. 17. № 1. С. 99-106.
11. Фролов С.И., Кочегаров И.И., Данилова Е.А., Таньков Г.В., Юрков Н.К., Баннов В.Я. Морфологический метод автоматизации структурно-параметрического синтеза блоков бортовых РЭС // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2018. Т. 2. С. 326-334.
12. Жидкова Н.В., Лазарева Е.И., Шаров В.А., Ямпурин Н.П. Разработка модели формирования показателя качества прецизионных деталей приборостроения // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2022. Т. 1. С. 93-98.
13. Shakhnov V.A., Kurnosenko A.E., Demin A.A., Vlasov A.I. Industry 4.0 visual tools for digital twin system design // В сборнике: Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems. Proceedings of 4th Computational Methods in Systems and Software 2020. Vol.2. 2020. pp. 864-875.
14. Berdyugina O.N., Krivoshein A.I., Vlasov A.I. Technological platform for innovative social infrastructure development on basis of smart machines and principles of internet of things // Proceedings - 2018 Global Smart Industry Conference, GloSIC 2018. 2018. N. 8570062.

УДК 53.083

Балыбердин[1] Ю.А., Волков[2] Г.А., Резчикова[3] Е.В.

[1,2,3] Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

[1] info_gcpp@mail.ru

[2] egor1234567890ego@mail.ru

[3] rezchikova.len@yandex.ru

СЕМАНТИЧСЕКИЙ АНАЛИЗ ТЕРМОМЕТРИИ

Аннотация. В работе рассмотрены основные характеристики датчиков температуры, характерные для каждого вида датчики, такие как диапазон измерений, погрешность, инертность и другие параметры. В статье уделено особое внимание рассмотрению термометров, основанных на разных физических эффектах, связанных с температурой. Описаны принципы действия датчиков, их характеристики, преимущества и недостатки. В статье приведена классификация датчиков по физическим принципам работы и характеристики датчиков в виде mind-map. В конце статьи сделан вывод об оптимальной применимости разных датчиков для различных температурных диапазонов.

Ключевые слова: термометрия, датчики температуры, характеристики термометров, пирометры, кварцевые термометры, манометрические термометры, термопара, термистор

Baliberdin[1] Yu.A., Volkov[2] G.A., Rezchikova[3] E.V.

[1,2,3] Bauman Moscow State Technical University, Russia, Moscow

[1] info_gcpp@mail.ru

[2] egor1234567890ego@mail.ru

[3] rezchikova.len@yandex.ru

SEMANTIC ANALYSIS OF THERMOMETRY

Annotation. The paper considers the main characteristics of temperature sensors characteristic of each type of sensor, such as: measurement range, error, inertia and other parameters. The article pays special attention to the consideration of thermometers based on various physical effects related to temperature. The principles of operation of sensors, their characteristics, advantages and disadvantages are described. The article provides a classification of sensors according to the physical principles of operation and characteristics of sensors in the form of a mind-map. At the end of the article, a conclusion is made about the optimal applicability of different sensors for different temperature ranges.

Keywords: thermometry, temperature sensors, characteristics of thermometers, pyrometers, quartz thermometers, manometric thermometers, thermocouple, thermistor

Введение

Объектом исследования данной работы является методика применения семантического анализа [1] для формирования классификационных признаков объектов на примере предметной области термометрии [1-5].

В качестве инструментария семантического анализа могут использоваться CMAP - карты, а также иные визуальные модели предметной области [6-18]. Семантический анализ, в частности, и визуальное моделирование понятий предметной области в общем находит широкое применение не только в понятийном анализе, при синтезе баз знаний и терминологических словарей, оно широко применяется в образовании, особенно при реализации учебного процесса с иностранными студентами [18-20].

Термометрия является важным параметром для производственных процессов, химических реакций, живых организмов и других процессов, происходящих в природе, процессов, которые использует человек [21-23]. Для измерения температуры предназначены специальные датчики [24-32]. Существует очень большое разнообразие датчиков температуры. Такое разнообразие возникает из определения температуры. Температура – это физическая величина, которая характеризует среднюю кинетическую энергию молекул. Иными словами, температуру невозможно измерить напрямую, а только параметры, зависящие от нее. От температуры зависят: сопротивления материалов [27-29], степени расширения [23, 32], скорость звука [24], распространение света в разных средах, давление паров, газови большое количество других показателей [21-32], которые можно измерить. Каждый датчик на основе разных закономерностей, зависящих от температуры, имеет свои преимущества и недостатки.

Целью работы является проведение семантического анализа предметной области - термометрия, формализация семантических характеристик базовых понятий и анализ их иерархической взаимосвязи.

Результатами работы являются построенные семантические карты понятий предметной области, которые позволяют сформировать ее предметный словарь и показать взаимовлияние понятий и возможности их морфинга.

1. Анализ характеристик объектов предметной области

Для любых датчиков температуры существуют общие параметры, характерные для каждого датчика.

1) Диапазон измерения. Характеризуется верхним и нижним пределами допустимой температур. В первую очередь возникает из-за восприимчивости материалов к температуре. За пределами диапазона, измеряемых параметров, они теряют линейную характеристику зависимости параметров от температуры. Также за пределами диапазона измерений возможен выход из строя чувствительного элемента и других периферийных устройств.

2) Чувствительность. Этот параметр характеризует минимальное изменение входного параметра, которое может зарегистрировать датчик. Зависит от измерительной схемы, принципа работы, материала датчика и частоты изменения входных данных.

3) Погрешность измерений. Возникает из-за того, что для любой системы характерны случайные и постоянные ошибки измерения. К тому же датчики измерения температуры вносят ошибку в измерениях тем, что термочувствительный элемент имеет теплоемкость. Иными словами, он отводит часть теплоты от объекта измерения.

4) Среда измерений. Измеряемая среда может быть химически активной по отношению к чувствительному элементу датчика или вносить дополнительны ошибки при измерениях. Для защиты чувствительных элементов могут использоваться специальные кожухи и другие средства.

5) Теплоемкость чувствительного элемента. Она вносит погрешность в измерения тем, что отбирает часть теплоты у тела, температуру которого мы измеряем. Так же она влияет на скорость нагревания чувствительного элемента.

6) Время измерения (инертность). Оно характеризует время, необходимое для установления равновесного состояния температур между датчиком и объектом измерения.

7) Тип выходного сигнала. Важная характеристика для любого датчика. Выходным сигналом может быть изменение сопротивления, термо-ЭДС, перемещение и другие физические показатели.

8) Питание датчика. Некоторые виды датчиков могут предъявлять особые требования к питанию. Например, термодатчики на основе тепловых электрических шумов очень требовательны к стабильности питания.

Вышеописанные характеристики, представлены ниже в виде mind-map [1-4] на рисунке 1.



Рисунок 1 - Основные характеристики датчиков температуры

Существует великое множество разнообразных датчиков температур. Каждый датчик имеет свои преимущества и недостатки. Ниже на рисунке 2 показаны основные виды датчиковтемпературы, основанные на разных тепловых эффектах, которые рассмотрены ниже.

Условно все датчики можно поделить на две большие категории – контактные и бесконтактные датчики. Эти два класса датчиков отличаются расстоянием между чувствительным элементом и объектом измерения. К тому же бесконтактные датчики имеют минимальное влияние на среду измерения, потому что условно не обладают теплоемкостью. На рисунке 3 показаны виды бесконтактных датчиков температур.

Бесконтактные датчики температуры основаны на анализе параметров теплового излучения или изменении параметров среды от температуры.

Акустические датчики температурыизмеряют температуру на основе эффекта зависимости скорости звука в среде от температуры. Зависимость имеет линейную характеристику. Он состоит из передатчика и приемника. Датчик определяет среднюю температуры между приемником и передатчиком. На погрешность измерений датчика влияют изменения давления и влажности воздуха [24].

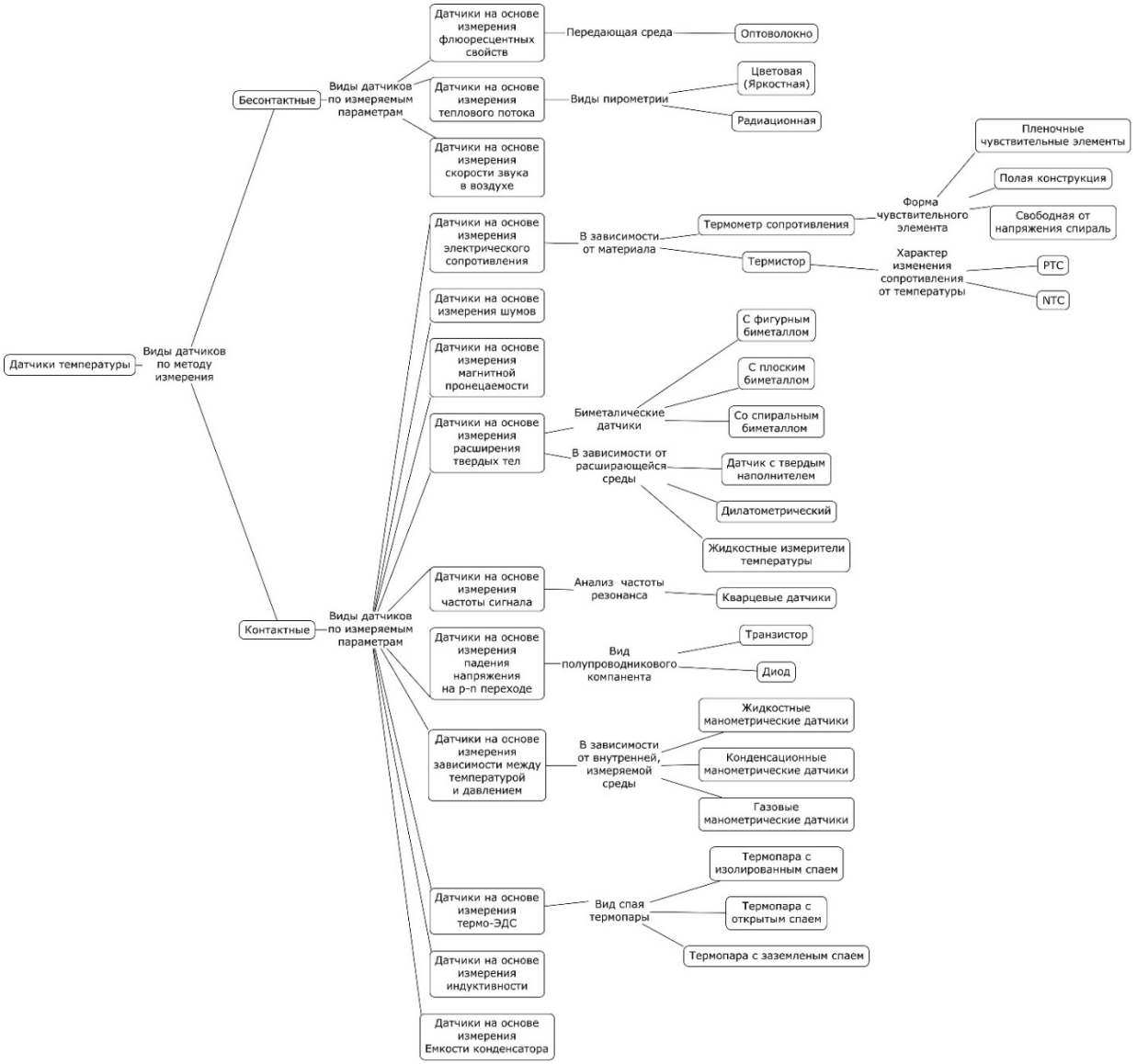


Рисунок 2 - Основные виды датчиков температуры



Рисунок 3 - Бесконтактные датчики температур

Датчик можно использовать в условиях радиоактивного излучения и в высоком температурном диапазоне. Он способен функционировать в диапазоне от -210 С до 20000С. Акустические датчики для криогенных температур используют в качестве термодинамической среды водород. Такие датчики способны измерять температуру в диапазоне от 2 до 20 К с точностью до 0.01К.

Принцип работы Волоконно-оптического датчика температурыоснован на флюоресцентном эффекте. На одном торце оптоволокна нанесены два флюоресцентных вещества, каждое из которых обладает своей длиной волны. Одно из них чувствительно к температуре, другое нет. Температуры вычисляется на основе разности интенсивности двух излучений от флюоресцентов.

Датчики способны работать в очень сильных электромагнитных полях. Их используют для определения температуры кабелей. Они функционируют в температуре от -50 до 5000С [25]. Точность измерения достигает до 0.10С.

Измерение температуры пирометров основано на анализе излучения от высоко нагретых тел.

Радиационная пирометрия основана на анализе интенсивности инфракрасного излучения высоко нагретого тела. Работает в диапазоне от-40 °С до 2500 °С [21]. Такие датчики имеют малое время отклика. Пирометрыимеют небольшие габариты, точность зависит от расстояния между датчиком и объектом.

Яркостная пирометрия для определения температуры требует сравнение цвета с цветом эталонной нагретой нити. Цветовая пирометрия определяет температуру благодаря анализу излучаемого спектра и способна измерять от 8000С и выше [26].Цветовая пирометриямеет высокую стоимость, большие габариты. Точность измерений не зависит от расстояния и его излучающей способностью, а зависит от температуры тела. Погрешность может достигать 10 %.

Контактные датчики температуры

Датчики температуры, измеряющие температуру посредством сопротивления электрическому току можно разделить на две группы: термисторы и термометры сопротивления.

Термометр сопротивления - это металлическая часть, которая изменяет свое сопротивление от температуры. Чувствительной части можно придавать разную форму, тем самым меняя технологию производства и параметры датчика. Она может быть в виде пружины свободной от напряжения, либо для повышения надежности быть намотанный на полый цилиндр, либо нанесена в виде тонкой пленки. ГОСТ 6651-2009 устанавливает предел измерений от -200 до 850 0С, если стоит вопрос обеспечения повышенной стабильности и надежности, от -200 до 600 0С [27]. Точность таких датчиков достигает 0.1 0С, но при использовании квадратичного уравнения Каллендара Ван Дьюзена точность может достигать от 0,01 до 0,03 °С в зависимости от диапазона температур. При резких скачках температуры датчик подвержен преждевременному старению.

Термистор представляет собой полупроводниковую массу, которая состоит из разных оксидов металлов. Такие датчикибываютNTC (Negative Temperature Coefficient) иPTC (Positive Temperature Coefficient).У NTC датчиков при увеличении температуры растет число свободных зарядов, из-за этого сопротивление падает. У PTC преимущественно растут тепловые колебания решетки, из-за этого сопротивление увеличивается.

Диапазон рабочих температур от -100 ° С до 300 ° С, а точность достигает 0.1 ° С. При превышении рабочего диапазона резко изменяются свойств термисторов. Термистор не стабилен по времени. Для повышения стабильности термисторы подвергают старению 500-700 дней. Дисковые термисторы достигают дрейфа до 50 мК за 100 дней при 60 °С [28].Они обладают малыми размерами, высокой выборочностью, нечувствительностью к магнитным полям, малой инертностью и не высокой ценой.

При контакте двух металлов и разности температур между его спаем и свободными выводами появляется термо-ЭДС. Датчики на основе такого эффекта называют термопарами.

Термопары имеют большой температурный диапазон от -250 до 2500 °С. Точность измерений достигает 0,2-0,3 °С, это связано с загрязнением, окислением и испарением материалов термоэлектродов. Параметры термопары можно контролировать видом измеряющего спая и материалом проводников [29]. Спай может быть открытым. Он обладает высокой скоростью отклика на изменение температуры, но очень чувствителен к механическим повреждениям к внешней среде. Изолированный спай представляет собой открытый спай со специальным кожухом, который защищает его от внешних воздействий разного рода. Данный вид спая характеризуется высокой инертностью. Заземленный спай является изолированным спаем, но место спая располагается на самом кожухе. Благодаря этому повышается быстродействие датчика, но он более восприимчив к электромагнитным помехам.

Манометрические датчики температуры, изменение температуры преобразуют в изменение давления и измеряют его. Эти датчики можно классифицировать по расширяющейся среде. Они бывают жидкостными, конденсационными и газовыми. Манометрические термометры жидкостные функционируют с -50 до 300°С, газовыеот -50 до 600°С, конденсационныеот -50 до 200°С. Манометрические датчики не чувствительны к электромагнитному, радиоактивному излучениям. Их применяют во взрывоопасных местах. Сигнал можно передавать на большие расстояния через капилляры.

Кварцевые датчики температуры меняют свою частоту резонанса при изменении температуры. В первую очередь частота резонанса зависит от модуля упругости, плотности и частотно-определяющего размера. Меняя ориентацию среза пьезоэлемента, можно контролировать температурные коэффициенты модуля упругости и частотно-определяющего размера. Кварцевой резонатор может иметь почти

прямолинейную зависимость частоты от температуры, или изменение частоты, стремящиеся к нулю. Такой резонатор называют термостабильным.

Термометр производит измерения в диапазоне температур от -60 до 125 °С. При превышении предельной температуры происходит резкое снижение добротности. Он может достигать точности измерений до 0.01°С, а при определении относительной температуры точность может достигать до 0.001°С [30]. Термометр имеет малые габариты, на выходе сразу образуется цифровой сигнал, имеет низкое влияние старения. Поточности, воспроизводимости, стабильности и разрешающей способности, они превосходят платиновые, термисторные и термопарные преобразователи температуры. Частотный выходной сигнал практически сводит к нулю погрешности от влияния линий связи датчика с устройством обработки информации обеспечивает высокую точность измерений в условиях действия промышленных электромагнитных помех. Преимущества кварцевой термометрии проявляются при измерениях постоянных и медленноменяющихся температур. В области контроля процессов с временем установления не более нескольких секунд применение кварцевой термометрии следует считать мало оправданным из-за значительной тепловой инерционности.

Термошумовые термометры основаны на измерении шума, возникающего в следствии хаотического движения носителей заряда. К аппаратуре предъявляются особые требования, потому что шум самого измерительного аппарата, может быть сравним с шумом чувствительного элемента.

Датчики применяют для измерения криогенных температур <1К или очень высоких от 2000 до 2500 К [22].

Термометры на основе диодов и транзисторов применяют зависимости параметров p-n от температуры. Например, обратный ток, прямое падение напряжения, коэффициент усиления.

Полупроводниковые датчики имеют очень узкий рабочий диапазон от -40 до 80 °Си низкую точность измерений 0.5 °С [31]. Имеют нелинейную характеристику, отсутствует взаимозаменяемости из-за большого разброса номиналов сопротивления, сильно подвержены старению при высоких температурах.

Индуктивные термометры функционируют на основе термозависимой магнитной проницаемости сердечника.

Индуктивные датчики измеряют температуру с низкой точностью, погрешность может достигать до 3°С. Температурный диапазон -200 до 30 °С[22].

Емкостные термометры измеряют температуру основываясь на емкостных свойствах, а еще используется измерение емкости, обусловленное температурной зависимостью диэлектрической проницаемости материала конденсатора. Изменение емкости может быть обусловлено и изменением с температурой расстояния между обкладками или площади их перекрытия.

Емкостные датчики работают в диапазоне низких температур от 1,2...30 К[22].

В области криогенных температур применяют магнитные термометры. Они основаны на температурной зависимости восприимчивости системы магнитных диполей, слабо взаимодействующих друг с другом и с полем кристаллической решетки. В качестве рабочего вещества используют парамагнитные соли, магнитная восприимчивость которых зависит от температуры. Для снижения измеряемых температур используют такие вещества, в кристаллах которых магнитные атомы окружены немагнитными.

Магнитные термометры работают в области температур0,006—30 К, точность достигает 0,001 К [22].

Существует огромное множество датчиков, в основе которых лежит принцип расширения тел. Биметаллические датчики представляют собой пластину, выполненную из двух металлов с разными коэффициентами расширения. За счет этого при изменении температуры пластинка биметаллического датчика изгибается. Эти датчики используют в виде стрелочного индикатора, ввиду сложности их цифровизации. Так же на основе эффекта перемещения создаются термочувствительные устройства, например, Термочувствительное биметаллическое реле [32]. Датчики с твердым наполнителем представляют собой сильфон, наполненный мелкодисперсным твердым веществом или аморфным веществом, имеют очень высокую инертность. Изменение температуры конвертирует в перемещение не закрепленного торца. Дилатометрический датчик измеряет температуру посредством измерения длины трубки с высоким коэффициентом теплового расширения. Жидкостные датчики температуры представляют собой герметизированную трубку с жидкостью. Для цифровизации таких датчиков вместо делений используют электроды, а через жидкость пропускают электрический ток. Жидкостные термометры используются в диапазоне от -200 до +500 °С, причем ртутные – от -50 до +500 °С[23].Точность всех жидкостных термометров обычно считается равной половине цены деления шкалы.

На рисунке 4 приведены все рассмотренные контактные датчики температуры в виде mind-map.

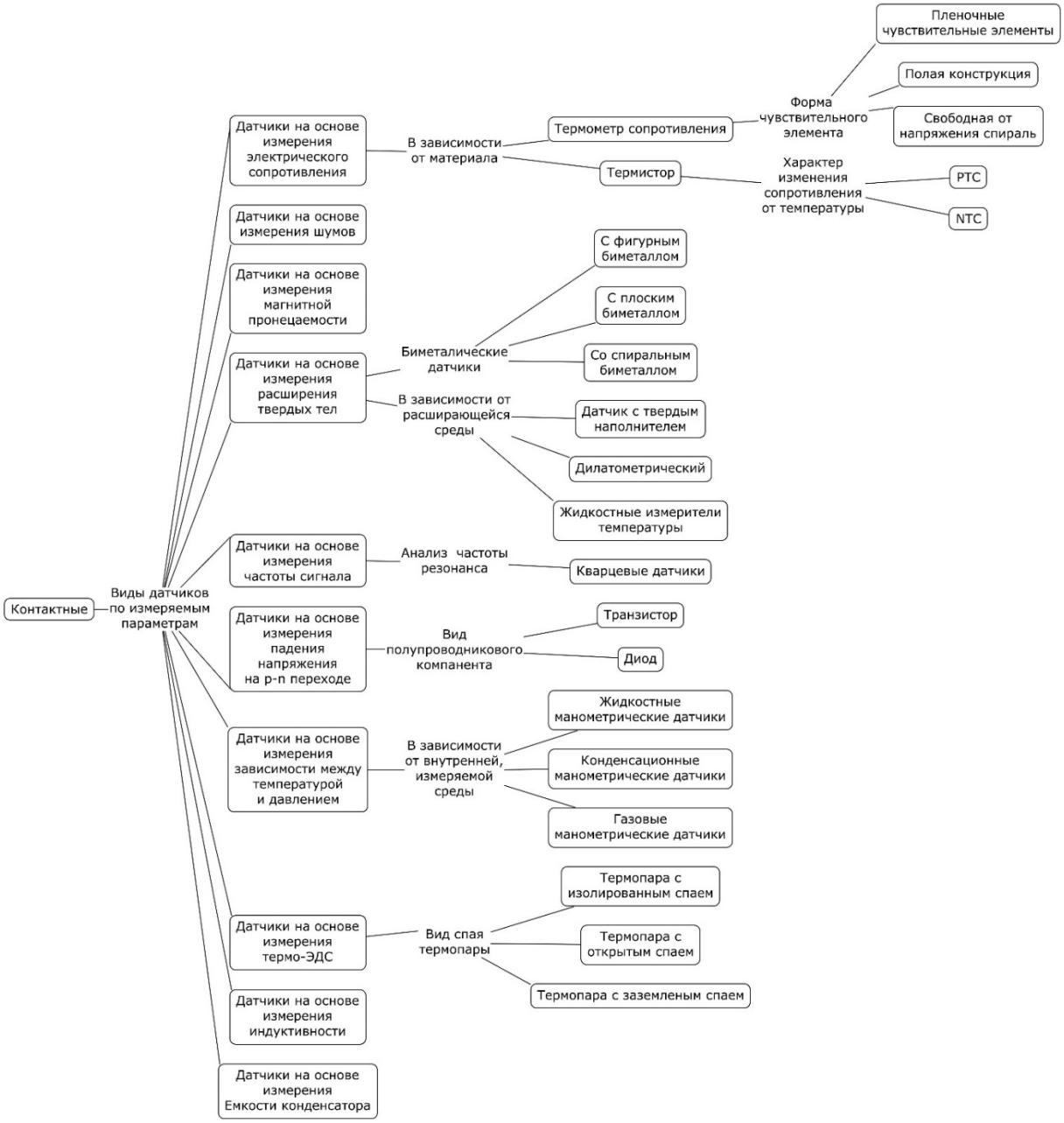


Рисунок 4 – Контактные датчики температуры

Результатами работы являются: анализ физических принципов измерения температуры, описание соответствующих термометров и их основных параметров. Проведенный анализ физических эффектов станет хорошим подспорьем при конструирование собственных датчиков температур. Приведенные примеры датчиков и их характеристики помогут выбрать наиболее подходящий физический эффект для, заданных техническим заданием, условий окружающей среды и диапазоном измеряемых температур. Результаты работы можно использовать не только для проектирования датчиков температуры, а также для устройств, физические параметры которых можно изменять посредством контроля температурных режимов. Рассмотренные физические эффекты можно применять в другом направлении – определение материалов вещества посредством изменения температуры.

Заключение

В статье рассмотрены принципы применения инструментов семантического анализа для систематизации бесконтактных и контактных датчиков температуры. Семантический анализ является одним из эффективных инструментов, который позволяет формализовать характеристики предметной области и установить между ними понятийные связи. На основе анализа можно утверждать, что наиболее точными измерениями обладают магнитные термометры, в области криогенных температур. В области комнатных температур наибольшую точность имеют термометры на основе кварцевых резонаторов, также их неоспоримым преимуществом является цифровой выходной сигнал, простота обработки сигнала и низкая цена. Эти характеристики позволяют широко использовать такие термометры при проведении научных исследований,

требующих точного контроля температур. Для измерения высоких температур, выше 1000°С наилучшими показателями обладают термопары, а для измерения сверхвысоких температур подойдут только пирометры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ревенков А.В., Резчикова Е.В. Теория и практика решения технических задач: Учебное пособие: Изд-е 4-е. - М.: ФОРУМ. 2020.
2. Шахнов В., Резчикова Е. ТРИЗ в техническом университете - Saarbrucken, 2015. 68 с.
3. Артемьев И.Б., Резчикова Е.В., Кондратюк А.В., Москалев Н.С., Садовников А.В., Щелбанин А.В. Применение методов функционального анализа технических объектов при разработке программного обеспечения // Динамика сложных систем - XXI век. 2018. Т. 12. № 1. С. 56-61.
4. Резчикова Е.В., Власов А.И. Перспективы применения концепт - карт для построения базы знаний ТРИЗ // В сборнике: ТРИЗ. Практика применения методических инструментов. Сборник докладов. Под ред. Яковенко С., Митрофанов В., Кудрявцев А. 2011. С. 140-145.
5. Адамов А.П., Адамова А.А. Семантический анализ перспективных изделий микро- и наноэлектроники с точки зрения увеличения ключевых показателей качества и технологичности // Надежность и качество сложных систем. 2017. № 3 (19). С. 94-101.
6. Адамова А.А. Применение инструментов когнитивной графики в преподавании конструкторско-технологических дисциплин // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2016. № 3 (163). С. 79-85.
7. Власов А.И., Шахнов В.А.Визуальные инструменты системного проектирования в приборостроении // Современные технологии научного приборостроения и информационно-измерительных систем. Труды Международной научно-технической конференции. - Москва, 2023. С. 6-8.
8. Vlasov A.I., Shakhnov V.A., Juravleva L.V., Visual environment of cognitive graphics for end-to-end engineering project-based education // Journal of Applied Engineering Science. 2019. Т. 17. № 1. pp. 99-106.
9. Адамова А.А., Власов А.И. Визуальное моделирование адаптации подготовки производства к выпуску новой продукции // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 2 (154). С. 46-56.
10. Адамов А.П., Адамова А.А., Темиров А.Т. Методика системного конструкторско-технологического проектирования изделий электронной техники с учетом требований концепции "индустрия 4.0" // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2020. Т. 2. С. 310-317.
11. Власов А.И., Журавлева Л.В. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). С. 133-140.
12. Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е. Функциональная визуальная модель контроля качества ЭС // Проектирование и технология электронных средств. 2014. № 1. С. 25-30.
13. Vlasov A., Naumenko A. Analysis of visual modeling tools development for complex production systems //Lecture Notes in Information Systems and Organisation. 3rd. Сер. "Digital Transformation in Industry - Digital Twins and New Business Models". 2022. pp. 335-346.
14. Vlasov A., Shakhnov V., Juravleva L. Analysis of data formats of visual models of system design in conditions of synchronous design technologies // CEUR Workshop Proceedings. 2. Сер. "SibDATA 2021 - Short Paper Proceedings of the 2nd Siberian Scientific Workshop on Data Analysis Technologies with Applications 2021". 2021. pp. 34-43.
15. Vlasov A.I., Shakhnov V.A. Visual methodology for the multi-factor assessment of industrial digital transformation components // Lecture Notes in Information Systems and Organisation. Сер. "Digital Transformation in Industry - Trends, Management, Strategies" 2021. pp. 57-65.
16. Vlasov A.I. Visual modeling of complex systems considering the role of active components // AIP Conference Proceedings. 2023. 2833(1), 070002
17. Власов А.И., Орехов А.Н., Тетик Л.В. Вероятностные и семантические испытания компьютерной системы, решающей нестандартные задачи // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2023. Т. 25. № 1. С. 31-45.
18. Адамов А.П., Адамова А.А.К вопросу о повышении качества труда работников вуза в процессе подготовки специалистов // Проектирование и технология электронных средств. 2007. № 2. С. 65-71.
19. Shakhnov V.A., Vlasov A.I., Juravleva L.V. Adaptation of professional engineering training to the challenges of modern digital production // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Т. 1134-1. С. 623-633.
20. Ismagilov K., Vlasov A., Karpunin A., Kurnosenko A., Strukova A. Open Engineering Education Tools in the Context of Education 4.0 // Lecture Notes in Information Systems and Organisation. 2023, 61 LNISO, pp. 449–466
21. Измерение температуры и давления: учеб. пособие / Исрафилов И.Х., Галиакбаров А.Т., Лобачева Е.Ф., Рахимов Р.Р. - Набережные Челны: ИНЭКА, 2012. - 40 с.
22. Жагулло О. М. Основные термины в области температурных измерений: Словарь-справочник. Под ред. А. Н. Гордова - М.: Изд-во стандартов, 1992 - 94 с.
23. Будник А.П. Теплообмен в авиационных конструкциях: учеб. пособие - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. 109 с.
24. Канев Н. Г. Акустический метод измерения температуры и влажности воздуха в помещениях // Акустический журнал, 2014 г., том 60, № 3, с. 332–335
25. Кобулиев А.О. Гончарова П.С. Волоконно- оптические датчики температуры// XII Международная студенческая научная конференция, Студенческий научный форум. 2020 г.
26. Фрунзе А. Пирометры спектрального отношения: преимущества, недостатки и пути их устранения // ВНИИОФИ. Оптические измерения. 2009. Т. 4. С. 32-37.
27. ГОСТ 6651-2009Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний - Стандартинформ 2019 г.
28. Guide on Secondary Thermometry Thermistor Thermometry-Bureau International des Poids et Mesures, 26 August 2014.
29. Выбор датчиков температуры: учебное пособие / сост.: Г.Б. Минигалиев, В.В. Елизаров - Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014. - 48 с.
30. Пьезоэлектрические резонаторы: Справочник/В. Г.Андросова, Е. Г. Бронникова, А. М. Васильев и др.; под ред. П. Е. Қандыбы и П. Г. Позднякова.М.: Радио и связь, 1992. - 392 с.: ил.
31. Васильев В. А. Зарубежные радиолюбительские конструкции - М.: Энергия : Массовая радиобиблиотека, 1977 г., вып. 828. – 120с.
32. Савкин В. Г. Тепловое биметаллическое реле времени // Патент СССР № 1006738/24-7 25.11.1970

УДК 621.382

Кувырков[1] А.В., Бростилов[2] С.А., Бростилова[3] Д.А., Зорькин[4] А.С., Вершинин[5] А.Е.
[1,2,3,5] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[4] Научно-производственное предприятие «Рубин», Пенза, Россия
[1] kipra@pnzgu.ru

АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ И ВЫДАЧИ КЛЮЧЕЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация. В работе рассматриваются ряд систем, иностранного и отечественного производства, созданных за последнее десятилетие. Выделим их недостатки и достоинства и выберем прототип для проектируемой системы.

Ключевые слова: автоматика, интеллектуальная система хранения, блок управления, камера хранения, звуковые сигнализаторы, контроль

Kuvyrkov[1] A.V., Brotilov[2] S.A., Brostilova[3] D.A., Zorykin[4] A.S., Vershinin[5] A.E.
[1,2,3,5] Penza State Univerity, Penza, Russia
[4] Research and production enterprise "Rubin", Penza, Russia
[1] kipra@pnzgu.ru

ANALYSIS OF AUTOMATED KEY STORAGE AND DISPENSING SYSTEMS AT ENTERPRISES

Annotation. The work considers a number of systems, foreign and domestic production, created over the past decade. Let's highlight their disadvantages and advantages and choose a prototype for the designed system.

Keywords: automation, intelligent storage system, control unit, storage chamber, sound alarms, control

Введение

Вопрос выдачи и хранения вещей возник несколько веков назад. Тогда появились первые специальные ящики для хранения, запираемые на отдельный ключ. Постоянно модифицируясь, они дошли до нашего времени в более улучшенном виде, но все равно остались недоработанные и с недостатками.

У большинства систем хранения есть очевидная проблема – из открытого ящика может быть взят любой ключ. Более того, если пользователей много возникает проблема отслеживания изъятия ключей и их перемещения. Конечно, проблема может быть решена ведением специального журнала учета, однако, как показывает практика, такое решение отнимает достаточно много времени и отвлекает внимание сотрудников, а содержание отдельного «ключника» несёт предприятию дополнительные расходы.

Поэтому для решения задачи выдачи ключей были созданы специальные автоматизированные системы выдачи ключей, позволяющие из центрального офиса надежно контролировать выдачу и движение от десятков до тысяч ключей одновременно.

Автомат выдачи ключей относится к системам контроля и управления доступом, что предотвращает несанкционированный проход в служебные помещения, позволяет учитывать посетителей, вести учет рабочего времени персонала.

Так же, автомат выдачи ключей применяются для автоматизированного контроля и ограничения прохода в защищенные помещения, проезда на территорию предприятия, быстрого определения местонахождения сотрудника.

Основные типы исполнения — карточка, брелок, метка. В качестве идентификатора может выступать код, вводимый на клавиатуре, а также отдельные биометрические признаки человека — отпечаток пальца, рисунок сетчатки или радужной оболочки глаза, трехмерное изображение лица.

Сферы применения «Автомата выдачи ключей» разнообразны:

- офисы компаний, бизнес-центры;
- банки;
- учреждения образования (школы, техникумы, вузы);
- промышленные предприятия;
- автостоянки, парковки;
- частные дома, жилые комплексы, коттеджи;
- гостиницы;
- общественные учреждения (спорткомплексы, музеи, метрополитен и др.)

До сих пор электронные системы выдачи ключей актуальны. Основными потребителями являются как раз крупные гостиницы, мотели и предприятия.

Основная часть

Изобретение относится к автоматике и может быть использовано в системах управления автоматизированными складами, камерами хранения и т.д. Известные устройства позволяют, как правило, выполнять только одну функцию - выдачу предметов. Расширение области применения устройства достигается в предложенном устройстве путем введения по адресного приема и выдачи кодовых ключей в

соответствии с кодами ячеек. Устройство содержит кольцевую ячейку для ключей, связанную с механизмом поворота. Для определения кодов ключей и ячеек устройство снабжено датчиками, связанными с блоком управления, выходы которого подключены к механизму поворота ячеек, и механизмом выдачи ключей. Устройство позволяет по предъявленному ключу определить в режиме выдачи предметов номер хранения соответствующей ячейки и выдать соответствующие ключи в режиме приема предметов на хранение.

На рисунке 1 приведена функциональная схема предлагаемого устройства. Оно содержит кодовые ключи 1, компаратор 2, блок управления 3, кнопку ("Пуск") 4, кассету 5, ячейки б, обойму 7, механизм поворота кассеты 8, механизм приёма и выдачи ключей 9 с диском 10, приемными личинами 11 на нем и направляющий желоб 12, первый датчик наличия ключа и кода ячейки в позиции выдачи 13, второй датчик наличия ключа 14, окно приема и выдачи ключей 15.

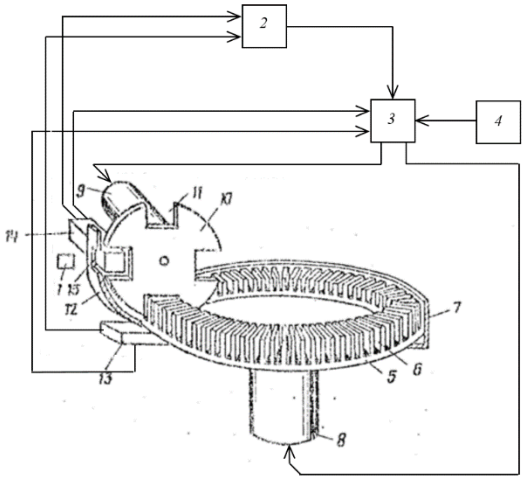


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства

Основными недостатками данного устройства являются:

- несоответствие принципа хранения ключей (выдача ключей происходит через специальное окно);
- низкая скорость выдачи ключей (в данной электромеханической системе отсутствует возможность одновременной выдачи нескольких ключей, так как выдача производиться через одно специальное окно);
- отсутствие возможности использования интерфейсов *USB*, *Enthrenet*;
- отсутствие источник бесперебойного питания;
- отсутствие возможности регистрации информации (информация об измеряемых параметрах, выполняемых операциях и техническом состоянии установки не может быть сохранена, так как в системе отсутствует элемент памяти);
- отсутствие звуковой сигнализации.

Интеллектуальная система хранения и учета ключей *KeyBox* компании *Creone* представляет собой прочный стальной бокс с кодонаборной панелью (возможно подключение любых считывателей) и отсеками (количество отсеков варьируется в зависимости от потребностей) с ячейками для ключей (количество ячеек варьируется в зависимости от потребностей конкретного объекта). Общий вид системы *KeyBox* показан на рисунке 2

Каждый ключ (или связка ключей) имеет свой идентификатор со встроенным микрочипом. Открытие двери бокса с помощью любого авторизованного ПИН-кода, извлечение или возвращение ключа фиксируется и хранится во встроенной памяти бокса. Идентификатор с микрочипом находится внутри небольшого стального цилиндра, который и вставляется в любую свободную ячейку и фиксируется электронным замком – система сама определит, где и какой ключ находится. Над каждым ключом располагается светодиод, если он горит зеленым, ключи доступны для пользователя, если красным – доступ запрещен. В случае попытки несанкционированного изъятия ключа с использованием неправильного ПИН-кода, раздается звуковой сигнал тревоги.

Система, в зависимости от модели, имеет возможность крепления на стене или устанавливается на полу. Она имеет функцию тревожного оповещения, которая включается, если дверца будет открыта длительное время или же пользователь попытается достать ключ, к которому он не должен иметь доступ. При наличии соответствующих прав, всегда можно узнать, у кого находится ключ в данный момент.

Все действия, сохраняются как в памяти самой системы, так и в памяти ПК, на котором установлено специализированное программное обеспечение *KeyWin*. Администратор создает пользователей со своего рабочего места, может объединять их в

группы, задавать временные интервалы, раздает пользователям ПИН-коды, каждому пользователю можно присвоить свой уникальный код к определенному ключу или группе ключей, к которым другие пользователи доступа иметь не будут. Все тревожные сообщения отображаются на мониторе ПК и для акцентирования внимания подсвечены красным.



Рисунок 2 – Общий вид системы *KeyBox*

Система *KeyBox* доступна в различных модификациях - хранилища имеют различные размеры, и различаются управлением. Система может быть расширена путем добавления держателей для ключей и/или дополнительных модулей *Expansion*. Это позволяет построить систему хранения от одного до нескольких тысяч ключей.

Таким образом, используя *KeyBox* вместе с программным обеспечением *KeyWin*, пользователь получает полный контроль над всеми ключами, содержащимися в системе.

Система хранения *KeyBox* поставляется в четырёх комплектациях: *Basic* - с кодонаборной панелью, *System* - с кодонаборной панелью и дисплеем, *Expansion* - боксы для расширения системы, *Keycontrol* - боксы управляемые с помощью ПК.

К базовому комплекту серий *Basic* и *System* есть возможность заказать различные опции. По мере необходимости, можно увеличивать количество отсеков и камер хранения, - при помощи присоединения дополнительных ящиков *KeyBox* серии *Expansion* (до пятнадцати ящиков) к одной сети.

Технические характеристики интеллектуальной системы хранения и учета ключей *KeyBoxSystem* 9500 *S* приведены в таблице 1.

Технические характеристики системы *KeyBoxSystem* 9500 *S* Таблица 1

Характеристики	Значения
Общее количество хранимых ключей, шт	216
Выдача ключа	в ручном режиме
Габаритные размеры устройства, мм	746 x 730 x 140

Основными недостатками данного устройства являются:

- несоответствие принципа хранения ключей (ключи хранятся в одном боксе, а не каждый ключ в своей ячейке).
- выдача ключа возможна только в ручном режиме;

Система ячеек для хранения *SmartKey* компании *MorseWatchmans*

Система ячеек *SmartKey* подходит для хранения ноутбуков, оружия, сотовых телефонов, радиостанций и других личных предметов. На рисунке 3 показан внешний вид систем с различными типами ячеек.

Система ячеек *SmartKey* может быть сконфигурирована как персональное хранилище для одного или нескольких пользователей. В дальнейшем емкость системы может быть расширена в зависимости от конкретных нужд.

Система ячеек для хранения *SmartKey* обеспечивает интеграцию как с системами контроля и управления доступом, так и с другими бизнес-системами и системами обеспечения безопасности, установленными на предприятии. Протокол взаимодействия открыт для партнеров по интеграции. Данное решение позволяет реализовать межсистемную связь на любом необходимом уровне.

Оборудование *SmartKey* разработано с учетом использования коммуникационных возможностей межсистемного взаимодействия. Это позволяет использовать лучшие в отрасли решения по обеспечению безопасности без необходимости перестроения или замены существующих систем.

Встроенные в *SmartKey* коммуникационные средства позволяют напрямую подключать принтеры или другие устройства через последовательный порт *RS*-232, а также использовать сетевые возможности подключения через порт *Ethernet*.

При добавлении дополнительных модулей и корпусов сохраняется возможность управления с одного пульта и использования специализированного программного обеспечения (ПО) *KeyPro* III.

ПО *KeyPro* позволяет оптимизировать производительность системы. В ней может быть организован удаленный доступ с любого сетевого компьютера, на котором установлено ПО *KeyPro*, которое позволяет администраторам системы назначать уровни доступа для пользователей и получать информацию о состоянии системы.



Рисунок 3 – Внешний вид системы *SmartKey*

Встроенный планировщик автоматически загружает и сохраняет все данные на компьютер с ПО *KeyPro*, что позволяет в дальнейшем сортировать события в системе по широкому перечню критериев, создавать различные аналитические отчеты и выводить их на печать в удобной форме. Администраторы системы имеют возможность в любой момент отследить историю использования ключей.

ПО *KeyPro* обладает широкими возможностями такими как: простой в использовании графический интерфейс, обмен информацией в режиме реального времени, совместимость с компьютерными сетями, оповещение о событиях системы по электронной почте. Последнее, является отличительной возможностью данной системы. Технические характеристики системы ячеек *SmartKey* приведены в таблице 2.

Технические характеристики системы ячеек SmartKey Таблица 1.2

Характеристики	Значения
Общее количество хранимых ключей, шт	6
Выдача ключа	в ручном режиме
Габаритные размеры устройства, мм	700 x 860 x 330

Основными недостатками данного устройства являются:

- несоответствие габаритных размеров при требуемом количестве ячеек (при расширении системы до заданного количества ячеек её габаритные размеры превысят значения, заданные в техническом задании);
- выдача ключа возможно только в ручном режиме.

Электронно-механическое устройство для хранения и выдачи ключей - "СК-24" фирмы ООО «ЭВС»

Устройство "СК-24" предназначено для хранения, получения/сдачи ключей от рабочих помещений предприятия, офиса, и т.п., а также автоматизированного учета времени сдачи/получения ключей и учета лиц, сдающих/получающих ключи.

Устройство представляет собой функционально законченное изделие, которое может работать как автономно, так и под внешним управлением персонального компьютера, в составе комплексных систем безопасности в качестве элемента системы контроля доступа. На рисунке 1.4 показан внешний вид устройства "СК-24".

Главной отличительной особенностью сейфа является исключение влияния человека на несанкционированный доступ к ключам, находящимся в сейфе, а также изменения информации об операциях с сейфом (выдача/получение и пр.).

Секционный принцип построения конструкции позволяет пользователю легко изменять ёмкость и конфигурацию сейфа по мере возникающих потребностей.

В сейфе реализован пенальный способ хранения ключей, т.е. ключи находятся внутри металлического пенала (дополнительно возможно использование специального пластикового вкладыша в пенал для опечатывания пластилином), что препятствует изготовлению слепков злоумышленниками.



Рисунок 4 – Внешний вид устройства "СК-24"

Для идентификации сотрудников и уровня их доступа могут быть использованы различные способы: пин-код, вводимый с клавиатуры; проксимити-карты различных типов; биометрическая идентификация (отпечаток пальца).

В состав устройства входят одна секция управления и от одной до десяти секций хранения. Секция управления имеет в своём составе контроллер, интерфейсы ***Ethernet*** и ***RS***-485 (для связи с управляющим компьютером), считыватель проксимити-карт или считыватель отпечатка пальца, клавиатуру, графический дисплей, звуковой и световой сигнализаторы. Секция хранения позволяет разместить 24 пенала, которые фиксируются в ячейках секции с помощью э/магнитных замков, что исключает возможность несанкционированного получения ключа.

Получение и сдача пенала осуществляется при помощи регистрации проксимити-карты или отпечатка пальца сотрудника. Дополнительным паролем для получения/сдачи может служить ***PIN***-код, вводимый с клавиатуры.

Все события, как-то: получение и сдача ключа, поднесение проксимити-карты к считывателю (регистрация отпечатка пальца) и т.п., а также текущее время и дата события фиксируются в протоколе во внутренней памяти устройства. Таким образом, протокол, который хранится в памяти устройства или на винчестере подключённого компьютера, позволяет держать под контролем режим пользования помещениями.

Ключи (или связка ключей) от помещений хранятся в индивидуальных пеналах. Крышка пенала одновременно служит брелоком для ключей.

По специальному заказу возможно изготовление пластмассового вкладыша в пенал для опечатывания пластилином.

Каждый пенал имеет свой порядковый номер и индивидуальный электронный код, не позволяющий сдать пенал в другое гнездо.

Внешнее управление устройством осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения "С-Монитор", устанавливаемого на компьютер. Помимо, ПО "С-Монитор" и ПО "ОХТА-2" для интегрированных систем безопасности ("ЭВС"), устройство "СК-24" поддерживается ПО ***APACS***, ОРИОН, ***ITRIUM***, ***LYRIX*** и др.

Конструкция устройства позволяет поместить его на стене или на специальной стойке, прикреплённой к полу.

Устройство питается от сети 220В и имеет встроенный аккумулятор резервного питания. Технические характеристики системы ячеек ***SmartKey*** приведены в таблице 3.

Технические характеристики системы ячеек ***SmartKey*** Таблица 3

Характеристики	Значения
Общее количество хранимых ключей, шт	до 240
Выдача ключа	из пенала
Габаритные размеры устройства на 24 ключа, мм	790 x 315 x 165

Основными недостатками данного устройства являются:

- несоответствие габаритных размеров при требуемом количестве ячеек (при расширении системы до заданного количества ячеек её габаритные размеры превысят значения, заданные в техническом задании);

- несоответствие принципа хранения ключей (ключи находятся в специальных пеналах, а не в ячейках).

Автоматизированная система для хранения и выдачи ключей компании «Фрейм» высоконадёжна - ключи хранятся в контейнере (пенале) из нержавеющей стали. Имеется возможность опечатывания ключей в пенале. Каждый пенал индивидуально заперт в своей ячейке. Доступ к пеналу осуществляется по индивидуальному коду пользователя, вводимому с клавиатуры, или при помощи кода считываемого с карточек (*Hid, proximity, Em-marin, mag, touchmemory* и др.), а также по комбинации личного кода и кода карточки. На рисунке 1.5 показан внешний вид устройства.



Рисунок 1.5 – Внешний вид системы серии ПП

Каждое извлечение пенала отслеживается по времени, дате и коду пользователя. На одну ячейку может быть заведено до 99 пользователей. Система не только фиксирует, кто взял, но также и то, кто сдал ключ. При возникновении нештатных ситуаций (попытки несанкционированного изъятия пенала) формируется сигнал тревоги.

Для каждого пенала могут быть назначены временные зоны доступа с использованием времени и даты (или дня недели).

Имеется возможность работы панели пеналов в автономном режиме, при этом программирование осуществляется при помощи встроенной клавиатуры и жидкокристаллического дисплея. Возможность объединения до 32 панелей по интерфейсу *RS*485 на персональный компьютер. Благодаря "открытому" протоколу обмена имеется возможность интегрирования в существующие системы безопасности.

Каждая панель предоставляет пользователям до 1920 независимых кодов.

Автоматизированная система для хранения и выдачи ключей компании «Фрейм» имеет дополнительные возможности: формирование сигнала тревоги при возникновении нештатных ситуаций, возможность стыковки панели пеналов с системой телевизионного наблюдения, функцию аварийной выдачи ключей.

Система может функционировать в одном из двух режимов: режиме произвольного возврата пенала в любую свободную ячейку или режиме сдачи пенала только в свою ячейку

Технические характеристики автоматизированной системы для хранения и выдачи ключей ПП-60 компании «Фрейм» приведены в таблице 4.

Технические характеристики автоматизированной системы для хранения и выдачи ключей ПП-60 компании «Фрейм» Таблица 4

Характеристики	Значения
Общее количество хранимых ключей, шт	60
Выдача ключа	из пенала
Габаритные размеры устройства, мм	1220 х 560 х 180

Основными недостатками данного устройства являются:

- несоответствие габаритных размеров при требуемом количестве ячеек (при расширении системы до заданного количества ячеек её габаритные размеры превысят значения, заданные в техническом задании);
- несоответствие принципа хранения ключей (ключи находятся в специальных пеналах, а не в ячейках);
- отсутствие возможности использования интерфейсов *USB, Enthrenet* (используется только интерфейс *RS*-485).

Система автоматической выдачи персональных дозиметров «КАСКАД» «ПО «Старт». ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт» им. М.В. Проценко» на протяжении многих лет является одним из ведущих и динамично развивающихся приборостроительных предприятий. Приборы и системы производства данного предприятия, успешно функционирующие на АЭС в России и за рубежом, отличаются высокой надежностью и точностью измерений.

Проект «КАСКАД» (Кассетница Автоматизированной Системы Контроля и хранения Авторизованных Дозиметров) является одним из проектов предприятия в области радиационной защиты. В состав Кассетницы «КАСКАД 1» (рисунок 1.6) входит, в том

числе, и устройство индикации уровня загрязненности дозиметров и мелких предметов альфа - и бета - активными веществами.

Технические характеристики системы автоматической выдачи персональных дозиметров «КАСКАД» приведены в таблице 1.5.



Рисунок 6 – Внешний вид системы «КАСКАД»

Плюсами данной системы являются: хранение индивидуальных дозиметров (или других предметов) в закрываемых ячейках, санкционированный доступ к содержимому ячеек посредством считывания кода с пропуска, контроль загрязненности дозиметров и мелких предметов альфа- и бета-активными веществами, учет рабочего времени персонала в зоне действия ионизирующего излучения посредством учета времени отсутствия дозиметра в кассетнице, оценка «фоновых» доз дозиметра исходя из времени его хранения в кассетнице.

Основными недостатками данного устройства являются:

- отсутствие вариантов исполнения для различных дозиметров (различные варианты ячеек)

Технические характеристики системы автоматической выдачи персональных дозиметров «КАСКАД» Таблица 5

Характеристики	Значения
Класс по влиянию на безопасность АЭС по НП-001-97 (ОПБ-88/97)	4Н
Количество ячеек в устройстве раздачи	не менее 100 шт.
Габариты ячейки (мм)	71 х 13 х 85
Габариты шкафа управления (мм, кг)	910 х 760 х 240, не более 100
Габариты шкафа хранения (мм, кг)	910 х 560 х 240, не более 70
Рабочий диапазон температуры (°С)	от минус 5 до +50
Рабочий диапазон давления (кПа)	86÷106
Рабочий диапазон влажности (%)	10÷80
Степень защиты	IP31
Степень защиты от проникновения твердых тел и воды (ГОСТ 14254)	IP65 – дисплей IP20 – задняя часть
Питание	220В±20%, (50±2,5)
Источник бесперебойного питания	230В / 550ВА
Средняя наработка на отказ (ч)	не менее 10000

Анализируя характеристики рассмотренных систем автоматизированного хранения и выдачи ключей (таблица 6) можно сделать вывод, о том, что наиболее оптимальным вариантом для основы разрабатываемого проекта является система «Каскад», производимая «ПО «Старт».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная система хранения и выдачи ключей/ Михрячев Д.А., Бростилов С.А., Баннов В.Я. Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2019. т. 2. с. 42-45.

2. Ступель, Ф.А. Расчет и конструкция электромагнитных реле / Ф.А. Ступель. – Москва, Ленинград, 1950. – 431 с.

3. Федорков, Б.Г. Микросхемы ЦАП и АЦП / Б.Г. Федорков, В.А. Телец. - Москва: Энергоатомиздат, 1990. - 320с.

УДК 54:084

Доросинский[1] А.Ю., Михеев[2] М.Ю, Крохин[3] И.А.

[1,2,3] Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

[1] antik_r13@mail.ru

[2] mix1959@gmail.com

[3] kr.ig.sv08@gmail.com

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УВЕЛИЧЕНИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПЕРВИЧНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ УГЛА ПОВОРОТА

Аннотация. В рамках обеспечения работ по созданию стабильных переменных проволочных резистивных датчиков угла поворота с высокой разрешающей способностью предложены варианты конструкции, а также методы и средства для оценки параметров. Результаты работы показали возможность разработки и изготовления проволочных резистивных датчиков угла поворота с высокой разрешающей способностью и стабильностью коэффициента передачи. Приводятся результаты испытания резисторов и экспериментальные данные.

Ключевые слова: измерительный первичный преобразователь, датчик угла поворота, переменный резистор, метод оценки, разрешающая способность, средство измерения

Dorosinski[1] A.Yu., Mikheev[2] M.Yu., Krokhin[3] I.A.

[1,2,3] Penza State Technological University, Penza, Russia

[1] antik_r13@mail.ru

[2] mix1959@gmail.com

[3] kr.ig.sv08@gmail.com

METHODS AND MEANS OF INCREASING THE RESOLUTION OF MEASURING INSTRUMENTS PRIMARY ELECTROMECHANICAL ROTATION ANGLE SENSORS

Annotation. As part of the work on the creation of stable variable wire resistive rotation angle sensors with high resolution, design options are proposed, as well as methods and tools for evaluating parameters. The results of the work showed the possibility of developing and manufacturing wire resistive rotation angle sensors with high resolution and stable transmission coefficient. The results of testing resistors and experimental data are presented.

Keywords: measuring primary transducer, rotation angle sensor, variable resistor, evaluation method, resolution, measuring instrument

Введение

В цепях отрицательной обратной связи различных объектов, где необходимо задавать угловые положения различных функциональных элементов киберфизических систем часто возникает необходимость в увеличении разрешающей способности измерительных датчиков углового положения для повышения технических возможностей.

В настоящее время в качестве измерительных первичных датчиков угла применяют электромеханические резистивные преобразователи, которые представляют собой потенциометры либо различного рода комбинации переменных резисторов. Но все они имеют либо большие габариты, либо малую разрешающую способность и, кроме того, неудобны в управлении.

В настоящее время разрешающая способность подобных датчиков часто недостаточна для обеспечения той дискретности, которая требуется, например, в цепях управления различными беспилотными летательными аппаратами или технических и медицинских манипуляторов.

Поэтому для повышения дискретности была предложена конструкция резистивных датчиков угла поворота, основанная на использовании грубо-точной схемы.

Выбор схемы резистора

Рассмотрим возможность повышения разрешающей способности следующими способами [1]:

- увеличение числа витков проволочного резистора;
- применение бесступенчатого резистора;
- комбинацией включения постоянных и переменных резисторов.

Первый способ повышения разрешающей способности ограничен габаритными размерами резистора, если он однооборотный, и условиями применения и управления резистором, если он многооборотный.

Второй способ повышения разрешающей способности ограничен сложностью изготовления бесступенчатого переменного резистора.

Повышение разрешающей способности третьим способом рассмотрим более подробно. Составим схему комбинированного включения постоянных и переменных резисторов для регулирования напряжения (рисунок 1).

Разрешающая способность данной схемы определяется по следующей формуле

$$\gamma = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot \frac{1}{n} \cdot 100\%$$

где R_1, R_2, R_3 – номинальные сопротивления переменного и постоянного резисторов; n – число витков переменного проволочного резистора.

Недостатком данной схемы является ограниченный диапазон регулирования выходного напряжения, определяемый отношением номинального сопротивления переменного резистора к сумме номинальных сопротивлений резисторов.

Для более точной регулировки выходного напряжения применяется целый ряд схем параллельного и последовательного включения переменных проволочных резисторов, приведенных на рисунке 2.

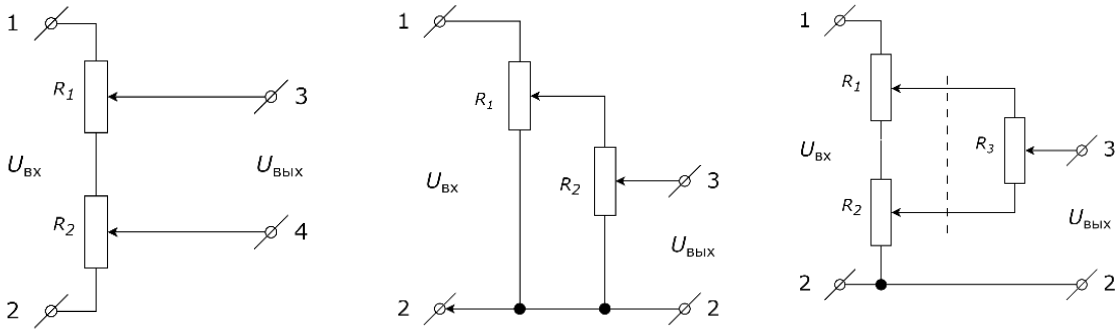


Рисунок 2

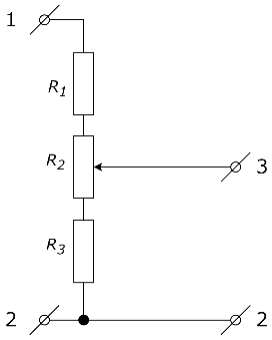


Рисунок 1

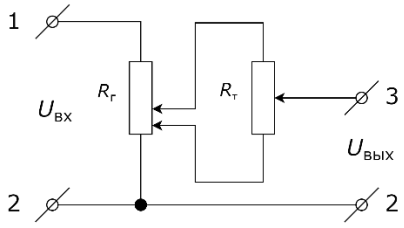


Рисунок 4

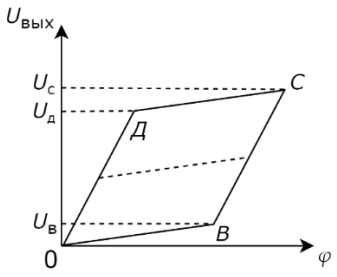


Рисунок 5

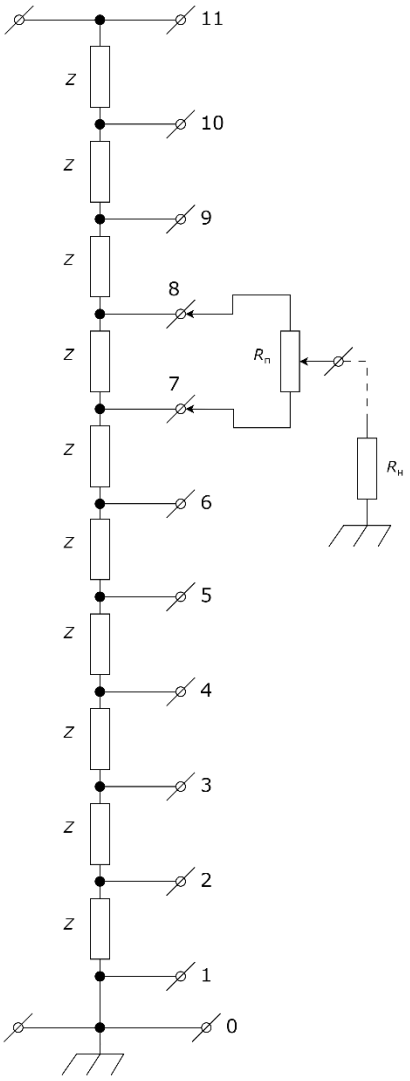


Рисунок 3

Из приведенных схем наиболее приемлемой для применения в качестве делителя напряжения является схема в), рисунка 2, в которой используются три отдельных переменных резистора R_1, R_2, R_3, из которых резисторы R_1, R_2, целесообразно посадить на одну ось и установить скользящие контакты таким образом, чтобы они в исходном положении находились в нижнем конце резистивных элементов.

Номинальные значения сопротивлений R_1, R_2, должны быть равны между собой, а номинальное значение сопротивления R_3 целесообразно выбирать значительно меньше.

Разрешающая способность данной схемы определяется по следующей формуле:

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\Delta R_{1-2}}{R_3}\left(1 - \frac{\Delta n_{1-2}}{n_{1-2}}\right)} \cdot \frac{\Delta n_{1-2}}{n_{1-2} \cdot n_3}$$

где ΔR_{1-2} – участок сопротивления 1 и 2 резисторов между подвижными контактами;

Δn_{1-2} – число витков 1 и 2 резисторов между подвижными контактами;

n_{1-2} – число витков 1 и 2 резисторов;

n_3 – число витков 3 резистора;

R_3 – номинальное сопротивление 3 резистора.

В работе [2] приведена схема двухкаскадного делителя напряжения (рисунок 3)

Первый каскад выполнен из постоянных сопротивлений z и позволяет грубо делить (скачками). Дальнейшее уточнение производится с помощью переменного резистора $R_п$.

Разрешающая способность данной схемы определяется по формуле

$$\gamma = \frac{1}{n_1 \cdot n_2} \cdot 100\%,$$

где n_1 – число грубых сопротивлений z; n_2 – число витков переменного резистора $R_п$;

Уравнение имеет смысл при выполнении условия $R_п \gg z$.

К недостатку всех приведенных схем следует отнести то, что для точной регулировки выходного напряжения необходимо применение двух или трех отдельных резисторов, управляемых от отдельных ручек. Это приводит к увеличению габаритных размеров устройств и затрудняет работу оператора. Поэтому целесообразнее выполнить переменный резистор, построенный по схеме (рисунок 4), с одной ручкой управления.

Такой подход позволяет обеспечивить намного большую разрешающую способность иизмерительных резистивных датчиков угла поворота, за счет каскадирования элементов грубо-точной подгонки.

На рисунке 5 приведен график работы резистора. В исходном состоянии все контактные пружины находятся в крайнем нижнем положении. При перемещении контактной пружины точной регулировки напряжение на выходе резистора изменяется от 0 до $U_В$ по прямой ОВ, затем начинает перемещаться подвижная система грубой регулировки и в то время как она достигает упора выходное напряжение будет равно напряжению $U_С = U_{вых}$. В процессе перемещения подвижной системы грубой регулировки напряжение на выходе резистора будет изменяться по прямой ВС.

При вращении оси резистора в противоположном направлении выходное напряжение соответственно изменяется по прямой СД при перемещении контактной системы точкой регулировки и по прямой ДО – при вращении подвижной системы грубой регулировки.

Анализ погрешностей, влияющих на стабильность коэффициента передачи

Стабильность коэффициента передачи $\delta U_{вых} = \frac{\Delta U_{вых}}{U_{вх}} \cdot 100\%$ зависит от многих факторов и, в первую очередь, от изменения полного сопротивления резистора, контактных сопротивлений, нагрузки и от перемыкания контактами соседних витков, т. е.

$$\delta U_{вых} = f(\Delta R_{полн}, \Delta R_{1-2}, \Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, R_н, \Delta n).$$

На рисунке 6 приведена эквивалентная схема резистора с учетом всех влияющих на стабильность величин.

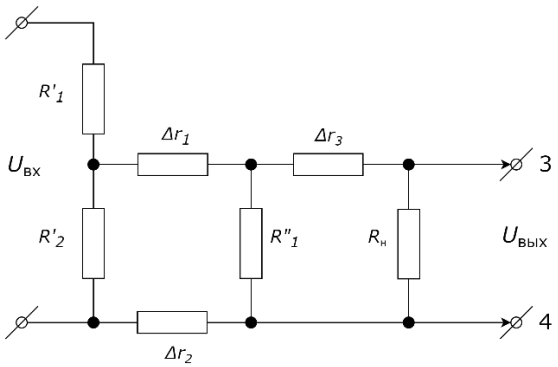


Рисунок 6

В связи с тем, что применяемая резистивная проволока марки Н80ХЮД имеет достаточно высокую стабильность во времени величиной изменения полного сопротивления резистора можно практически принебречь и рассматривать влияние только факторов, которые имеют значительную величину изменения.

Рассмотрим влияние на стабильность коэффициента передачи [2] и изменения контактных сопротивлений Δz_1, Δz_2, Δz_3. Из экспериментальных данных известно, что при соответствующем выборе контактной пары изменение контактных сопротивлений в течение 5 минут не превышает 0,5 Ом.

Стабильность коэффициента передачи в зависимости от контактных сопротивлений Δz_1, Δz_2, Δz_3 определяется по следующим формулам:

$$\delta U_{\Delta z1} = \frac{\Delta z_1 \cdot n \cdot R_1'' \cdot 100\%}{(R_1')^2 \cdot \left(1 + \frac{R_1''}{R_2'} + \frac{R_1''}{R_1'}\right)^2}$$

$$\delta U_{\Delta z2} = \frac{\Delta z_2 \cdot (R_2' + R_н) \cdot 100\%}{n \cdot R_н \cdot R_1' \cdot \left(1 + \frac{R_2'}{R_н} + \frac{R_1''}{R_2'} + \frac{R_1''}{R_1'}\right)^2}$$

$$\delta U_{\Delta z3} = \frac{\Delta z_3 \cdot n \cdot 100\%}{R_н \cdot \left(1 + \frac{R_1''}{R_1''} + \frac{R_1'}{R_2'}\right)^2}$$

где $n = \frac{l_{гр.рез.эл}}{\Delta l}$ - для всех номинальных значений сопротивлений; $l_{гр.рез.эл}$ - длина резистивного элемента грубой регулировки; Δl - расстояние между контактами грубой регулировки.

Следующим фактором влияющим на стабильность коэффициента передачи, является изменение нагрузки $\Delta R_н$. стабильность выходного напряжения $\delta U_{\Delta R_н}$ определяется по формуле

$$\delta U_{\Delta R_н} = \frac{\Delta U_{вых}}{U_{вх}} \cdot 100 = \frac{R_1' \delta R_н}{R_н \left(1 + \frac{R_1'}{R_1''} + \frac{R_1'}{R_2'}\right)^2}$$

В переменных проволочных резисторах контактная пружина при установлении ее в любую точку обмотки перемыкает несколько витков, поэтому часто наблюдается явление замыкания и размыкания контакта соседнего витка. Это явление вызывает значительное изменение выходного напряжения. Это изменение можно посчитать по следующим формулам:

- при размыкании витка, т. е. изменении R_2'

$$\delta U \Delta R_2' = \frac{\Delta R_2' \cdot R_2'}{R_1' \left(1 + \frac{R_2'}{R_1''} + \frac{R_2'}{R_1'}\right)^2}.$$

- при замыкании витка, т. е изменении R_1'

$$\delta U \Delta R_1' = \frac{\Delta R_1' \cdot \left(\frac{1}{R_1''} + \frac{1}{R_2'}\right)}{\left(1 + \frac{R_1'}{R_1''} + \frac{R_1'}{R_2'}\right)^2}.$$

Для расчета были взяты следующие значения $\Delta z_1 = \Delta z_2 = \Delta z_3 = 0{,}5$ Ом и $\delta R_н = 1\%$.

Проведенные исследования показали, что наибольшее влияние на изменение выходного напряжения оказывает последний фактор - замыкание и размыкание контактом рядом лежащего витка.

Расчет и выбор элементов конструкции

При разработке резистивных датчиков углового положения, наряду с созданием оптимальной конструкции необходимо рационально выбирать материал для резистивного элемента, контактных пружин, корпуса и других деталей, а также пропиточные лаки и изоляционные покрытия.

При выборе резистивной проволоки необходимо руководствоваться следующими требованиями, которым она должна удовлетворять [3]:

- необходимое удельное электрическое сопротивление для реализации заданных номиналов сопротивлений и максимального количества витков обмотки;
- высокая коррозионная стойкость, позволяющая обеспечить малые контактные сопротивления;
- высокая износоустойчивость;
- невысокая цена и доступность.

Наиболее пригодной для намотки резистивного элемента является проволока высокого омического сопротивления марки Н80ХЮД, так как хорошо показывает себя при испытании резисторов на износ. По результатам проведенных исследований резистивная проволока из сплава Н80ХЮД в сочетании с контактами ПлН-4,5, ПдИ-18, СрПдМ-30-20 выдерживает 2000000 поворотов оси скользящего контакта при контактном давлении от 3 до 6 г. Проволока имеет высокую коррозионную стойкость и небольшие контактные сопротивления в паре с контактами на основе благородных металлов.

В качестве материала каркаса можно применить провод марки ПЭТВ, который изготавливается из медной электротехнической проволоки, покрываемой теплостойким высокопрочным полиэфирным лаком.

Система грубого и точного резистивного элемента должна обеспечивать следующие параметры резистора:

- заданные номиналы;

– даданную разрешающую способность;
– наибольшую стабильность сопротивления.

При расчете резистивных элементов необходимо учесть то, что номинальное сопротивление резистора определяется в основном сопротивлением грубого резистивного элемента, поэтому его сопротивление должно соответствовать номинальным значениям резистора.

Расчет грубого резистивного элемента необходимо проводить исходя из возможных тепловых режимов работы резистора. В соответствии с [8] площадь резистивного элемента

$$S = \frac{P}{\upsilon \cdot \mu},$$

где S – площадь каркаса;
P – электрическая мощность рассеяния;
υ – перегрев обмотки;
μ – средний коэффициент теплоотдачи резисторов $8 \cdot 10^{-5}$ Вт/мм^2·град.

Диаметр резистивной проволоки определяется из следующего выражения

$$d = 0{,}11\sqrt[3]{\frac{S \cdot \rho}{R \cdot K}},$$

где d – диаметр проволоки;
ρ – удельное электрическое сопротивление проволоки;
R – сопротивление обмотки;
K – коэффициент, численно равный отношению шага намотки к диаметру проволоки.

Коэффициент K выбирается из таблиц в зависимости от диаметра проволоки.

Зная диаметр можно рассчитать ее общую длину

$$L = \frac{785 \cdot R \cdot d^2}{\rho}.$$

Задавшись диаметром каркаса, можно определить его рабочую длину

$$l_0 = \frac{S}{\pi \cdot d_k},$$

где S – площадь каркаса.

Величина сопротивления точного резистивного элемента выбирается из соображений получения максимально возможного количества витков для создания необходимой разрешающей способности.

При заданном номинальном сопротивлении и электрической разрешающей способности расчет сводится к определению диаметра проволоки и длины обмотки.

Диаметр проволоки обмотки определяется по формуле:

$$d = 0{,}063\sqrt{\frac{\rho \cdot d_k}{R \cdot \gamma_{p.cn}}},$$

где d_k – диаметр каркаса;
$\gamma_{р.сп}$ – заданная разрешающая способность.

Длина обмотки

$$l_0 = k\frac{d}{\gamma_{p.cn}};$$

где k – коэффициент равный отношению шага намотки к диаметру проволоки.

Таким образом, исходя из теплового режима работы резистора и из заданной разрешающей способности была найдена минимальная рабочая длина резистивных элементов. По принятой конструктивно длине резистивного элемента проводим уточненный расчет диаметра проволоки, числа витков, шага намотки.

Диаметр проволоки определяем по формуле

$$d_{пров} = 0{,}1\sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot l_{раб} \cdot d_к}{R \cdot K}};$$

где $d_{пров}$ – диаметр высокоомной проволоки, мм;
$l_{раб}$ – рабочая длина намотки, мм;

Вычислив диаметр проволоки и зная номинальное значение сопротивления, можно определить длину проволоки и число витков по формулам:

$$z = \frac{0{,}785 \cdot d_{пров}^2 \cdot R}{\rho},$$

$$n = \frac{0{,}785 \cdot d_{пров}^2 \cdot R}{0{,}97 \cdot \pi \cdot (d_k + d_{пров} \cdot 0{,}82) \cdot \rho},$$

где n – число витков;
0,97 – коэффициент, учитывающий удлинение проволоки в процессе намотки;
0,82 – коэффициент учитывающий изгиб каркаса.

Зная число витков, можно определить шаг намотки

$$t = \frac{l_{раб} - d_{пр}}{n}.$$

Схему на рисунке 4 можно представить эквивалентной схемой на рисунке 7.

Для переменных проволочных резисторов, выполненных по данной схеме, разрешающую способность можно определить следующим образом

$$\delta_{р.сп} = \frac{1}{n_2 \frac{e}{\Delta e}\left(\frac{\Delta R_Г}{R_т} + 1\right)} 100\%,$$

где n_2 – число витков точного резистивного элемента;

e – рабочая длина намотки грубого резистивного элемента, мм;

Δe – расстояние между контактами грубой регулировки, мм;

$R_Г$ – сопротивление участка цепи грубого резистивного элемента;

$R_т$ – сопротивление точного резистивного элемента.

Исследование стабильности коэффициента передачи резисторов с высокой разрешающей способностью

Исследования стабильности коэффициента передачи резисторов показали, что необходимо разработать методику измерения с точностью не хуже 0,0005%.

Существует несколько методов измерения напряжения малых величин. Разработанный метод поверки делителей напряжений с помощью потенциометра постоянного тока типа Р-307 и ему подобных имеют большую погрешность ±0,015%.

Задачу измерения стабильности коэффициента передачи можно существенно упростить и значительно повысить точность измерения, если исследование проводить по следующей схеме (рисунок 8).

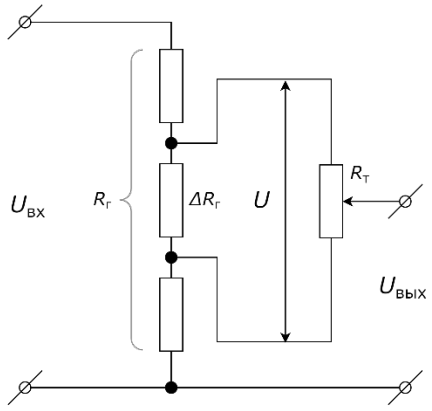


Рисунок 7

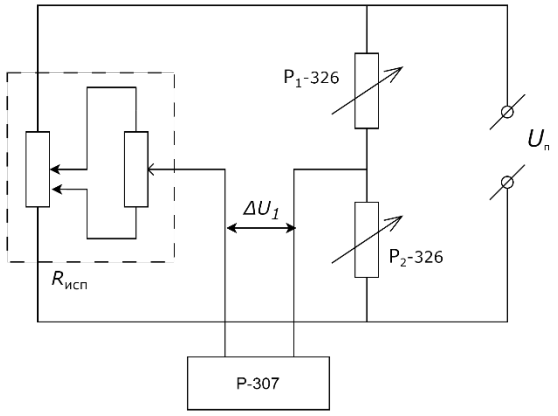


Рисунок 8

Вся погрешность измерения будет определяться погрешностью измерения разности потенциалов диагонали мостовой схемы ΔU_1, погрешностью балансировки мостовой схемы перед испытанием ΔU_2, временным и температурным уходом сопротивлений образцовых катушек ΔU_3.

При напряжении питания схемы U_1=10 В, погрешность измерения разности потенциалов ΔU_1 будет определяться погрешностью измерения, вносимой потенциометром постоянного тока типа Р-307, которая зависит от измеряемой величины. Наихудшим случаем при испытании будет измерение потенциометром разности потенциалов при погрешности коэффициента передачи $\delta K = 0{,}0005\%$, которая равна ΔU_1 = 105 мкВ. Абсолютная погрешность измерения в этом случае равна ΔU = ±0,5 мкВ.

Так как важна именно приведенная погрешность измерения величины ΔU_1 по отношению к напряжению U_1, подаваемому на питание схемы, то

$$\delta\Delta U_1 = \frac{\Delta U}{U_1} \cdot 100\% = \frac{0.5}{10000000} \cdot 100\% = 0{,}000005\%.$$

Погрешность балансировки мостовой схемы перед испытанием при ΔU_2 = 2мкВ будет составлять, примерно, с учетом погрешности измерения ΔU также 0,000005%.

Магазины сопротивлений Р-326 не будут вносить погрешности в измерение разности потенциалов ΔU_1, т. к. они выполняют функцию заранее выставленных плеч моста и первоначальный разбаланс моста компенсируется испытуемым резистором с погрешностью ΔU_2.

Изменение сопротивления декад магазинов Р-326 в течение года не превышает 0,001-0,002%. Таким образом уходом сопротивления декад магазинов Р-326 в течение времени испытаний (обычно не более 3-х суток) можно практически пренебречь [4].

При выполнении всех вышеперечисленных условий среднеквадратичная погрешность данного метода измерения стабильности коэффициента передачи резисторов будет составлять

$$\sigma = \sqrt{0{,}000005^2 + 0{,}000005^2} = 0{,}000007\%.$$

что вполне достаточно для определения стабильности коэффициента передачи при выполнении данной работы.

При увеличении напряжения питания схемы, чувствительность схемы будет увеличиваться.

Исследование стабильности коэффициента передачи проводилось в нормальных условиях при разной нагрузке на исследуемый резистор в течении 5 мин.

Для исследования было выбрано 50 образцов.

Исследование стабильности коэффициента передачи проводилось по схеме на рисунке 6, которая представляет собой мост, в плечи которого включены испытуемый резистор и магазин сопротивлений Р-326. Схема питается напряжением, пропорциональным мощности исследуемого резистора. Это напряжение поддерживается неизменным с точностью до 1%.

По результатам исследований построены гистограммы стабильности коэффициента передачи резисторов (рисунки 9, 10).

Гистограммы постороены для номиналов резисторов 68, и 75000 Ом и в зависимости от подаваемого напряжения на резистор.

Стабильность величины коэффициента передачи резисторов при температуре окружающей среды 20±1⁰С, относительной влажности 60% и одиночных ударах длительностью 1+1,5 мсек и максимальном ускорении до 0,5g за 1 минуту составляет ±0,002% для номинальных сопротивлений 68 Ом и 0,001% для 75000 Ом.

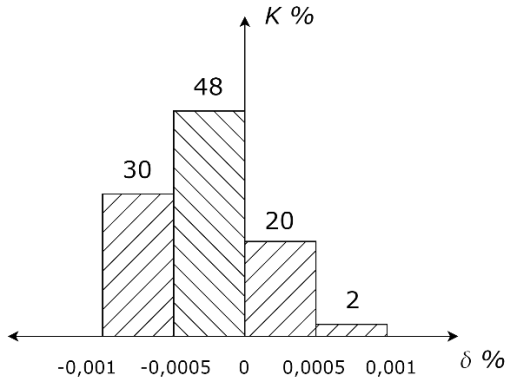


Рисунок 9

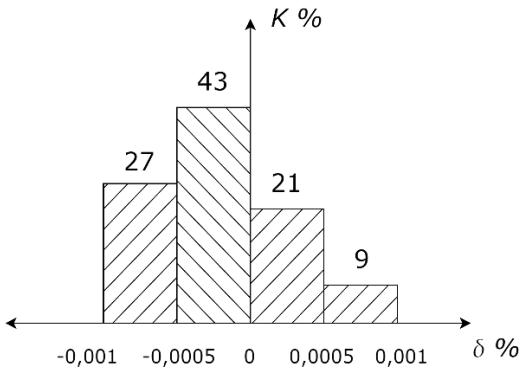


Рисунок 10

Выводы

В результате проведенной работы была предложена конструкция измерительного электромеханического датчика угла поворота потенциометрического типа, объединяющая в себе 2 переменных резистора, соединенных по грубо-точной схеме, регулировка которых осуществляется от одной ручки управления. При этом вначале контакт точной ручки регулировки выходит на упор грубой регулировки и выставляется выходное напряжение грубо, а затем вращением оси в обратном направлении осуществляется точная регулировка напряжения.

Разработанные резисторы просты по своей конструкции, технологичны в изготовлении и удовлетворяют требованиям современной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белевцев, А.Т. Потенциометры. М., «Машиностроение», 1969.

2. Доросинский, А.Ю. Способы улучшения механических характеристик резистивных элементов и методы их расчета / Доросинский А.Ю., Данилова Е.А., Герасимов О.Н., Лысенко А.В., Кузина Е.А. // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1 (21). С. 84-92.

3. Дорорсинский А.Ю. Перспективы применения композиционных резисторов в аппаратном обеспечении информационно-измерительных систем / А.Ю. Доросинский, О.В. Прокофьев, И.Ю. Семочкина // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 4 (36). С. 98-105.

4. Доросинский, А.Ю. Исследование влияния воздействия вибрационных нагрузок на конструкционные материалы изделий электронной техники / Доросинский А.Ю., Герасимов О.Н., Березин М.Н. // Надежность и качество сложных систем. 2017. №3 (19). С. 37-42.

УДК 377.354

Михеев[1] М.Ю., Доросинский[2] А.Ю.,Абувалов[3] Е.Ю., Тамбовцев[4] К.А.
[1,2,3,4] Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия
[1] mix1959@gmail.com
[2] antodor24@gmail.com

ВИРТУАЛЬНЫЕ СИМУЛЯТОРЫ РАБОТЫ С ОБОРУДОВАНИЕМ КОРРОЗИОННОГО МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ UNITY

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы использования программных тренажеров-симуляторов по использованию различного промышленного оборудования и преимущество их применения для предприятий. Приводятся результаты анализа существующих программных средств для создания симуляторов, их особенности и возможности. Дается информация о преимуществах использования среды Unity перед существующими аналогами. Также приводится информация по основным этапам разработки моделей симуляторов и особенностям работы с ними.

Ключевые слова: измерительный первичный преобразователь, датчик угла поворота, переменный резистор, метод оценки, разрешающая способность, средство измерения

Mikheev[1] M.Yu., Dorosinskiy[2] A.Yu., Abuvalov[3] E.Yu., Tambovtsev[4] K.A.
[1,2,3,4] Penza State Technological University, Penza, Russia
[1] mix1959@gmail.com
[2] antodor24@gmail.com

VIRTUAL SIMULATORS OF WORKING WITH CORROSION MONITORING EQUIPMENT USING THE UNITY DEVELOPMENT ENVIRONMENT

Annotation. The article discusses the prospects for using software simulators for the use of various industrial equipment and the advantages of their use for enterprises. The results of an analysis of existing software for creating simulators, their features and capabilities are presented. Information is provided on the advantages of using the Unity environment over existing analogues. Information is also provided on the main stages of developing simulator models and the features of working with them.

Keywords: measuring primary transducer, rotation angle sensor, variable resistor, evaluation method, resolution, measuring instrument

Введение

Под тренажером-симулятором, как правило, понимается программа, моделирующая условия для отработки навыков ведения технологического процесса, получения продукта необходимого качества, ликвидации аварийных ситуаций, обслуживания и ремонта оборудования и т.д. В более широком смысле симуляторы – это программные и аппаратные средства, создающие впечатление действительности, отображая часть реальных явлений и свойств в виртуальной среде.

История компьютерных симуляторов для обучения насчитывает десятилетия развития, начиная с ранних экспериментов исследователей и ученых. Первые компьютерные симуляторы для обучения появились в 1950-х годах, когда компьютеры только начинали развиваться. Они представляли собой компьютерные программы, используемые для обучения военных пилотов.

В 60-е годы компьютерные симуляторы стали еще более распространенными в военной и авиационной сферах. Они использовались для тренировки пилотов, управления боевыми системами и анализа тактических сценариев.

В следующее десятилетие компьютерные симуляторы начали использоваться в образовательных целях в университетах и школах. Тренажеры-симуляторы помогали студентам изучать различные науки и области, такие как медицина, инженерия и управление производством.

В 80-е годы с развитием персональных компьютеров и графических интерфейсов появились более доступные и интерактивные компьютерные симуляторы для обучения. Симуляторы стали широко использоваться в корпоративном обучении.

В период 90-х годов компьютерные симуляторы для обучения стали еще более разнообразными и продвинутыми за счет применения новых на то время технологий визуализации. Они включали в себя трехмерную графику, виртуальную реальность и симуляции реальных процессов.

С появлением интернета и технологий облачных вычислений компьютерные симуляторы стали доступны на онлайн-платформах и мобильных устройствах.

Как правило, симуляция широко используется в образовательных целях, когда слишком дорого или опасно позволить стажерам использовать реальное оборудование. В таких ситуациях они получают реалистичный опыт в безопасной виртуальной среде. Отсюда, главным преимуществом тренажеров-симуляторов является то, что они позволяют учиться безопасно. Например, можно симулировать аварийные ситуации, которые могут возникнуть при работе с оборудованием, и научить студента справляться с ними, без риска получить травму или повредить дорогостоящее оборудование. Кроме того, симуляторы могут существенно сократить время обучения.

Студенты могут получить доступ к учебным материалам в любое время и из любой точки мира, что облегчит процесс обучения и позволит сэкономить время и ресурсы.

Тема применения тренажеров раскрывается во многих статьях. В статье [1] представлен обзор практик использования симуляторов и тренажеров для целей профессионального образования и обучения. Проанализированы сложившиеся в профессиональной педагогике точки зрения и подходы к описанию симуляторов и тренажеров как инструмента формирования профессиональных навыков. Описаны симуляторы, применяемые в медицинском, техническом и педагогическом образовании.

Также в статье [2] выявляются задачи, виды, преимущества и недостатки использования тренажера как педагогического инструмента повышения качества обучения. Говорится о возможности формирования у студента навыков действий моторно-рефлекторного и когнитивного типа в трудных ситуациях, понимания сущности протекающих процессов и их зависимости друг от друга.

Современные компьютерные технологии позволяют создавать эффективные обучающие симуляторы по установке и эксплуатации промышленного оборудования. Такие симуляторы могут быть полезными для обучения новых сотрудников, повышения квалификации персонала или для обучения студентов. Основная идея таких симуляторов заключается в том, что студент может получить опыт работы с оборудованием, взаимодействуя с его виртуальной моделью, а также воссоздавать различные ситуации, возникающие при установке или эксплуатации оборудования, а также помочь студенту развить навыки работы оборудованием [3].

Существуют симуляторы для работы с фабричными конвейерами, литейными агрегатами, автомобильными устройствами, а также симуляторы для работы на электростанциях и линиях электропередач. На сегодняшний день существует немало отечественных и зарубежных компаний, занимающихся созданием виртуальных тренажеров-симуляторов, а также макетов и стендов. К сожалению, симуляторы все же недостаточно используются в узкоспециализированной промышленности и для оборудования особого назначения. Не все производители оборудования готовы предоставлять такого рода практику по работе со своим оборудованием.

Применение обучающих тренажеров в области коррозионного мониторинга

Одной из отраслей промышленности, которая требует особого внимания к обучению специалистов и где также востребовано применение симуляторов, является коррозионный мониторинг трубопроводов.

Коррозия в нефтегазопроводах — это негативное явление, при котором металлические поверхности труб подвергаются разрушительным процессам из-за воздействия окружающей среды. Коррозия может возникать из-за различных причин, таких как влажность, химические вещества, механические повреждения или электрохимические процессы.

Один из самых распространенных типов коррозии в нефтегазопроводах — это образование ржавчины на металлических поверхностях. Это происходит из-за воздействия агрессивных сред, например влаги или химических веществ, на металл. Ржавчина может привести к пробоям и протечкам в трубопроводе, что может быть опасно как для окружающей среды, так и для оборудования [5].

Для борьбы с коррозией в нефтегазопроводах применяются различные методы защиты, такие как нанесение антикоррозионных покрытий на поверхности труб, установка анодных защитных систем, мониторинг состояния трубопроводов с помощью специализированных приборов и технологий.

Эффективная борьба с коррозией в нефтегазопроводах играет важную роль в обеспечении безопасности и надежности транспортировки нефти и газа, а также увеличении срока службы инфраструктуры нефтегазопроводов.

Коррозионный мониторинг нефтегазопроводов — это процесс постоянного наблюдения и контроля за состоянием трубопроводов с целью предотвращения и минимизации коррозионных процессов, которые могут привести к авариям и утечкам нефти или газа. Главная задача коррозионного мониторинга — обеспечить информацией, необходимой для планирования и реализации мероприятий по предупреждению аварийных ситуаций на трубопроводах, эксплуатируемых в коррозионно-опасных средах. Например, мероприятия по организации ингибиторной защиты трубопроводов.

Для проведения коррозионного мониторинга используются различные методы и технологии, включая регулярные инспекции, тестирование материалов, измерение толщины стенок труб и применение специализированных инструментов для обнаружения и контроля коррозии.

Процесс коррозионного мониторинга включает в себя несколько этапов:

Выбор методов мониторинга. Существует несколько методов мониторинга коррозии, включая использование коррозионно-резистентных материалов, регулярные инспекции, электрохимические методы, ультразвуковые методы, методы контроля толщины стенки и др.

Установка датчиков и приборов. Для мониторинга коррозии часто используются датчики и приборы, устанавливаемые на оборудовании и трубопроводах. Эти датчики могут измерять толщину стенки, скорость коррозии, химические параметры окружающей среды и другие параметры, связанные с коррозией.

Сбор и анализ данных. Полученные данные от датчиков регулярно собираются и анализируются для выявления изменений в состоянии оборудования и выявления потенциальных проблем с коррозией. Это может включать в себя мониторинг изменений толщины стенки, изменений в составе и pH окружающей среды и т. д.

Принятие мер по предотвращению коррозии. На основе данных мониторинга могут быть приняты меры по предотвращению или уменьшению коррозии. Данные методы включают в себя проведение регулярной профилактической обработки оборудования, замену или ремонт поврежденных участков, изменение химического состава рабочей среды и т. д.

Коррозионный мониторинг играет ключевую роль в обеспечении безопасности и надежности оборудования и трубопроводов в нефтегазовой отрасли, что позволяет своевременно выявлять и предотвращать потенциальные проблемы с коррозией и минимизировать риски аварийных ситуаций.

Тренажеры-симуляторы позволяют обучить специалистов пользоваться устройствами для коррозионного мониторинга, а также проводить диагностику состояния трубопроводов с помощью данных устройств, выявлять начальные признаки коррозии, оценивать и прогнозировать риски разрушения [4]. Такие тренажеры обеспечивают реалистичное виртуальное окружение, где специалисты могут учиться устанавливать и правильно настраивать устройства, распознавать и анализировать получаемые данные, принимать решения о методах контроля и оценке состояния трубопроводов. Внедрение тренажеров-симуляторов для обучения специалистов в области коррозионного мониторинга трубопроводов поможет повысить профессионализм и квалификацию специалистов в данной области, улучшить уровень безопасности и надежности трубопроводов, а также снизить риски возникновения аварийных ситуаций и убытков для предприятия.

Средства разработки программных симуляторов оборудования

Образовательные 3D симуляторы похожи на компьютерные игры, так как оба типа программ используют похожие технологии и средства разработки для создания виртуального пространства. Однако в отличие от игр, образовательные симуляторы разрабатываются для обучения определенным навыкам или темам.

Они могут быть использованы в образовательных целях, чтобы помочь студентам понять сложные концепции, проводить обучающие занятия или симулировать реальные сценарии. Образовательные симуляторы могут использоваться в различных областях, таких как медицина, инженерия, архитектура и т.д.

При реализации 3D симулятора, обучающего студента работе оборудованием коррозионного мониторинга могут использоваться такие среды разработки, как Unity и Unreal Engine, а также средства создания и анимации 3D моделей, например, Blender и 3ds Max. Более точные инженерные модели с подробной внутренней структурой реализуются средствами CAD систем. Разработчики также могут использовать другие инструменты для добавления визуальных, аудио эффектов и других функций, которые делают симуляторы более наглядными и эффективными для обучения [5].

Интегрированная среда разработки (IDE), специально предназначена для создания мультимедийных приложений и игр. Она обладает удобным пользовательским интерфейсом, который объединяет в себе инструменты для создания графики, анимации, физики, аудио и скриптов.

С помощью среды разработки можно создавать кроссплатформенные приложения, поддерживаемые на большом количестве устройств и платформ, таких как Windows, macOS, iOS, Android, PlayStation, Xbox и т.д. Современные среды разработки также поддерживают технологии виртуальной реальности и дополненной реальности.

Среда разработки предоставляет различные инструменты и библиотеки для создания игровой логики, управления анимацией персонажей, реализации физики объектов, обработки аудиоэффектов и создания пользовательского интерфейса.

С помощью среды разработки реализуются основные механики симулятора, программная логика, включая логику взаимодействия с объектами. Среда разработки позволяет писать программный код с помощью интегрированных языков программирования. Сборка и отладка симулятора также происходит внутри среды разработки [6].

Средства создания трехмерной графики, если речь идет о 3D симуляторе, нужны для моделирования всех тех объектов, которые пользователь будет видеть на сцене, включая саму сцену. Помимо этого, средства создания моделей нужны для создания тех объектов, с которыми пользователь будет взаимодействовать, в частности главный предмет изучения.

В таблице 1 представлено краткое сравнение Unity с другим популярным движком Unreal Engine.

Сравнительная характеристика движков Unity и Unreal Engine Таблица 1

Характеристика	Unity	Unreal Engine
Целевая аудитория	Широкий спектр разработчиков, от новичков до профессионалов	Преимущественно для опытных и профессиональных разработчиков
Графика и визуализация	Хорошие возможности для создания красивых игр и приложений, но с ограниченным функционалом в сравнении с Unreal Engine	Продвинутый визуальный движок с высококачественной графикой и возможностями фотореалистичного отображения
Производительность	Может быть более доступной для мобильных устройств и более легковесной в целом, но может столкнуться с проблемами производительности при сложных сценах	Мощный движок с высокой производительностью, способный обрабатывать сложные сцены и визуальные эффекты
Язык программирования	Поддержка C#, JavaScript и Boo	Поддержка C++, Blueprints (визуальное программирование) и Python
Цена	Бесплатная версия с ограниченным функционалом, платные версии для расширенного функционала и коммерческого использования	Бесплатная для личного использования, но требуется выплата роялти от прибыли при коммерческом использовании
Обучение и документация	Обширные ресурсы обучения и сообщество разработчиков	Обширная документация и ресурсы, но может быть более сложной для новичков из-за мощного функционала
Гибкость и расширяемость	Хорошая гибкость и расширяемость, позволяющая создавать разнообразные игры и приложения	Мощные инструменты и возможности настройки, но может потребоваться больше времени на освоение

Преимущества разработки программных симуляторов в среде Unity

Unity — это кроссплатформенный движок для разработки многоплатформенных 2D и 3D видеоигр и интерактивного контента. Он был разработан и выпущен компанией Unity Technologies в 2005 году и быстро стал одним из наиболее популярных инструментов в игровой индустрии. Unity предлагает разработчикам широкий набор инструментов и функций для создания игр высокого качества и интерактивного контента для широкого спектра платформ, включая персональные компьютеры, мобильные устройства, консоли и виртуальную реальность [12].

Одной из ключевых особенностей Unity является его гибкость и универсальность. Он поддерживает разработку игр как для 2D, так и для 3D, что делает его оптимальным выбором для многих проектов. Unity также обеспечивает интеграцию с различными сервисами и SDK, такими как реклама, аналитика, монетизация и другие, что делает его полным и готовым к использованию инструментом для разработчиков.

Другим важным аспектом Unity является его сообщество и экосистема. Unity имеет огромное и активное сообщество разработчиков, которые обмениваются опытом, создают ресурсы обучения и предлагают поддержку друг другу. Это создает благоприятную среду для обучения и роста, особенно для новичков в индустрии.

В основе Unity лежит движок, который обеспечивает поддержку различных платформ, включая ПК, мобильные устройства, устройства виртуальной и дополненной реальности. Используя Unity, разработчики могут создавать симуляторы, которые будут запущены на различных устройствах без необходимости изменений в исходном проекте.

Unity позволяет создавать образовательные симуляторы, которые могут быть запущены на различных устройствах, в том числе, смартфонах и планшетах. Это делает симуляторы более доступными для обучения вне помещений, оборудованных компьютерами. Также Unity предлагает множество инструментов для оптимизации приложений под мобильные устройства, что позволяет создавать более производительные симуляторы [7, 11, 12].

В таблице 2 представлены преимущества Unity.

Языком программирования в Unity является C#. Синтаксис C# включает в себя концепции, характерные для других языков, таких как C++ и Java, что делает его относительно простым для освоения разработчиками, знакомыми с этими языками. Язык поддерживает объектно-ориентированные принципы, такие как наследование, полиморфизм, инкапсуляция и абстракция [8].

C# — это высокоуровневый, объектно-ориентированный язык программирования, разработанный корпорацией Microsoft в конце 1990-х годов. Он является частью семейства языков программирования, основанных на языке C, и предназначен для разработки широкого спектра приложений, от настольных программ до веб-приложений и игр.

Преимущества и недостатки Unity Таблица 2

Преимущества Unity	Недостатки Unity
Наличие визуальной среды разработки	Ограничение визуального редактора при работе с многокомпонентными схемами
Большое сообщество разработчиков и ресурсы для обучения	Отсутствие поддержки Unity ссылок на внешние библиотеки
Мощный движок с гибким инструментарием и множеством функций	Использование шаблонов экземпляров (prefabs)
Поддержка широкого спектра платформ и устройств	Проблемы с WebGL-версией движка (производительность, потребление памяти, работоспособность)
Интеграция с различными сервисами и SDK для рекламы, аналитики, монетизации и т. д.	Ограниченные возможности для оптимизации кода на уровне языка программирования
Модульная система компонентов Unity	Время от времени возникают проблемы с обновлениями и совместимостью версий

Основными чертами C# являются его простота и эффективность. Язык обладает строгой типизацией, что обеспечивает безопасность и надежность кода, а также автоматическим управлением памятью, что делает его более безопасным и удобным для программистов. C# также поддерживает множество современных функций и возможностей, таких как асинхронное программирование, LINQ (Language Integrated Query), атрибуты и многие другие, что позволяет разработчикам писать более чистый и эффективный код [9].

Одной из ключевых особенностей C# является его интеграция с платформой .NET Framework (или его более новыми версиями, такими как .NET Core и .NET 5). Это обеспечивает разработчикам доступ к обширной библиотеке классов и функций, которые упрощают разработку приложений и обеспечивают их переносимость между различными платформами.

Благодаря своей гибкости, эффективности и возможностям C# остается одним из популярных языков программирования, как среди начинающих, так и среди опытных разработчиков. Его применение в различных областях программирования делает его важным инструментом для создания приложений и систем.

C# обеспечивает автоматическое управление памятью с помощью механизма сборки мусора, что позволяет разработчикам избежать ручного управления памятью и утечек памяти. Данный язык имеет широкую сферу применения, начиная от разработки веб-приложений до создания игр и мобильных приложений.

Среда разработки Unity предлагает множество методов и технологий, подходящих для реализации большинства задач и потребностей разработчиков. При создании 3D-симуляторов на Unity могут быть полезны следующие методы и технологии:

Raycast. Данный метод используется для определения столкновений луча с объектами в сцене. Луч — это линия, которая исходит из определенной точки в определенном направлении (например, от контроллера пользователя). Raycasting в Unity позволяет определить, пересекает ли луч какие-либо объекты в сцене, и в случае пересечения возвращает какую-либо информацию.

Данный метод будет полезен при разработке симуляторов на Unity для реализации таких функций, как обнаружение частей объекта и вывода информации о них.

Коллайдеры. Данные компоненты прикрепляются к игровым объектам для определения их формы и границ, а также для обработки столкновений с другими объектами в сцене. Они используются для создания областей, в которых происходят физические взаимодействия, такие как столкновения, триггеры и обнаружение коллизий [6].

Коллайдеры также могут быть настроены как триггеры. Это означает, что они могут обнаруживать столкновения без воздействия физики на объекты. Такие триггеры используются, например, для создания областей, которые вызывают события или запускают определенные действия. Это полезно при реализации в симуляторе такого функционала, как выбор объекта, запуск анимации, установка элемента в нужное место.

Визуальное программирование. Данный метод используется для создания игровой логики и функциональности, используя визуальные элементы и интерфейс, вместо написания кода вручную. Оно предоставляет набор инструментов и графический интерфейс для создания логики поведения игровых объектов без необходимости в написании кода [8, 9].

Этапы разработки симуляторов

Разработка обучающего 3D симулятора в упрощенном виде состоит из следующих этапов [9-11]:

Создание концепции. На этом этапе нужно определить, какое устройство планируется создавать, определить его характеристики, внутреннее устройство и

принцип работы. Также на этом этапе нужно определиться с тем, как пользователь будет взаимодействовать с устройством, какие задачи будут ему предложены и насколько подробно будет проработано устройство.

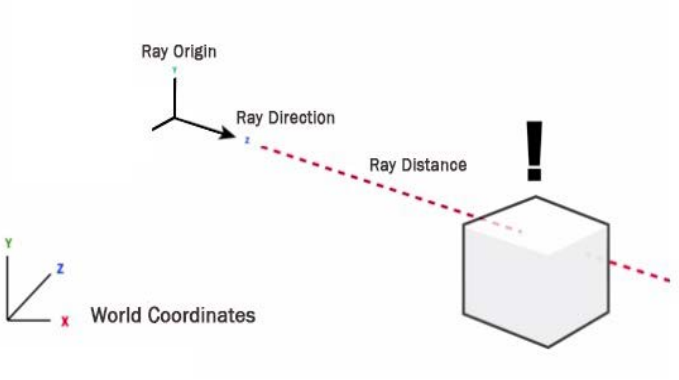


Рисунок 1 – Принцип работы Raycast в Unity

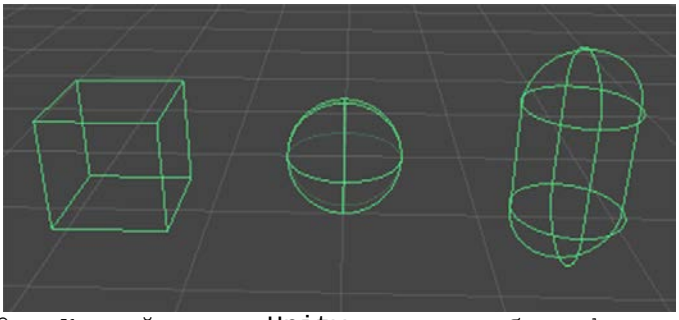


Рисунок 2 – Коллайдеры в Unity в виде куба, сферы и капсулы

Создание 3D-моделей. Модели для симулятора стоит создавать по тому же принципу, как и модели для игр, так как для такой модели важна оптимизация и небольшое количество полигонов, из которых она состоит. Но у моделей для симуляторов есть важная особенность — в них важно проработать внутреннюю структуру и составные части, а также сделать ее максимально приближенной к реальности.

Создание анимации. Необходимо создать анимации декомпозиции (разбора на составные части), сборки, установки, а также анимацию, демонстрирующую принципы работы устройства.

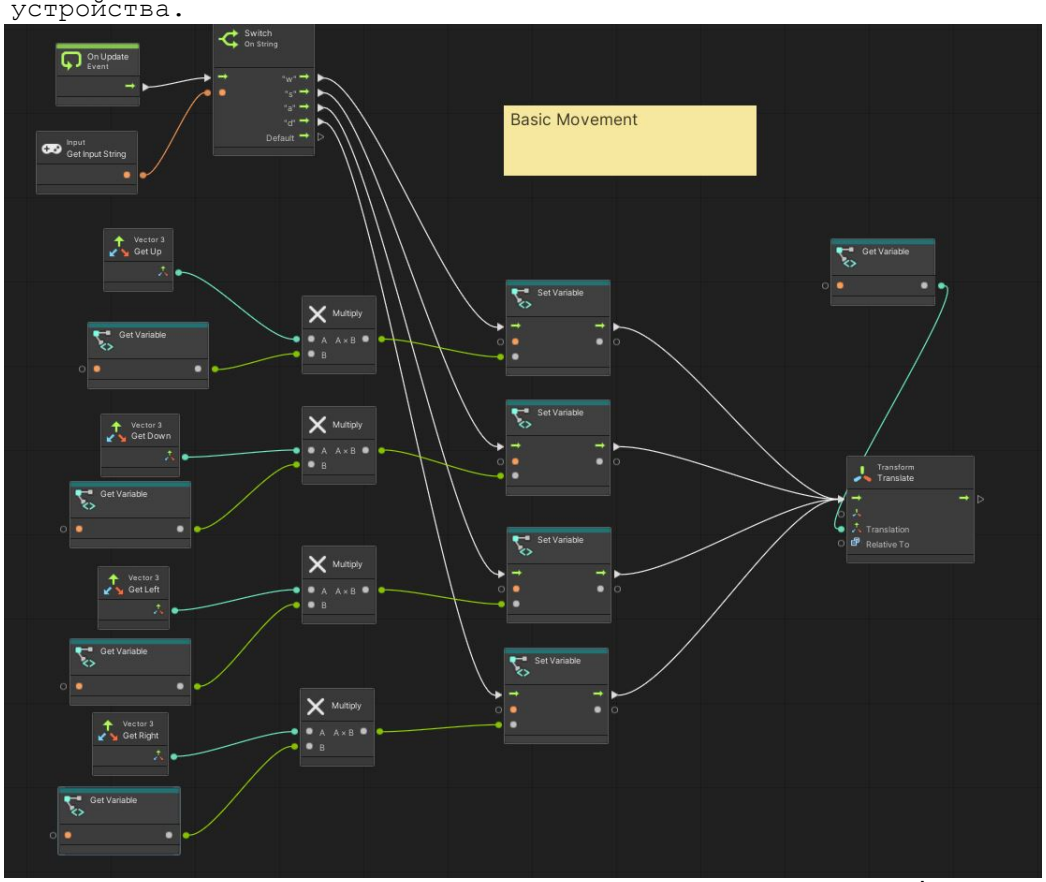


Рисунок 3 – Пример визуального программирования в Unity

Создание 2D-графики. Элементы интерфейса, значки и кнопки.

Создание всплывающих окон с подсказками. Всплывающие окна должны содержать информацию об устройстве и о его частях при наведении курсора на устройство или на его части соответственно.

Создание логики взаимодействия. Логика взаимодействия пользователя с объектами в симуляторе, в частности, с изучаемым оборудованием. На объектах в сцене должны находиться скрипты, которые будет выполняться в соответствии с заданными действиями пользователя.

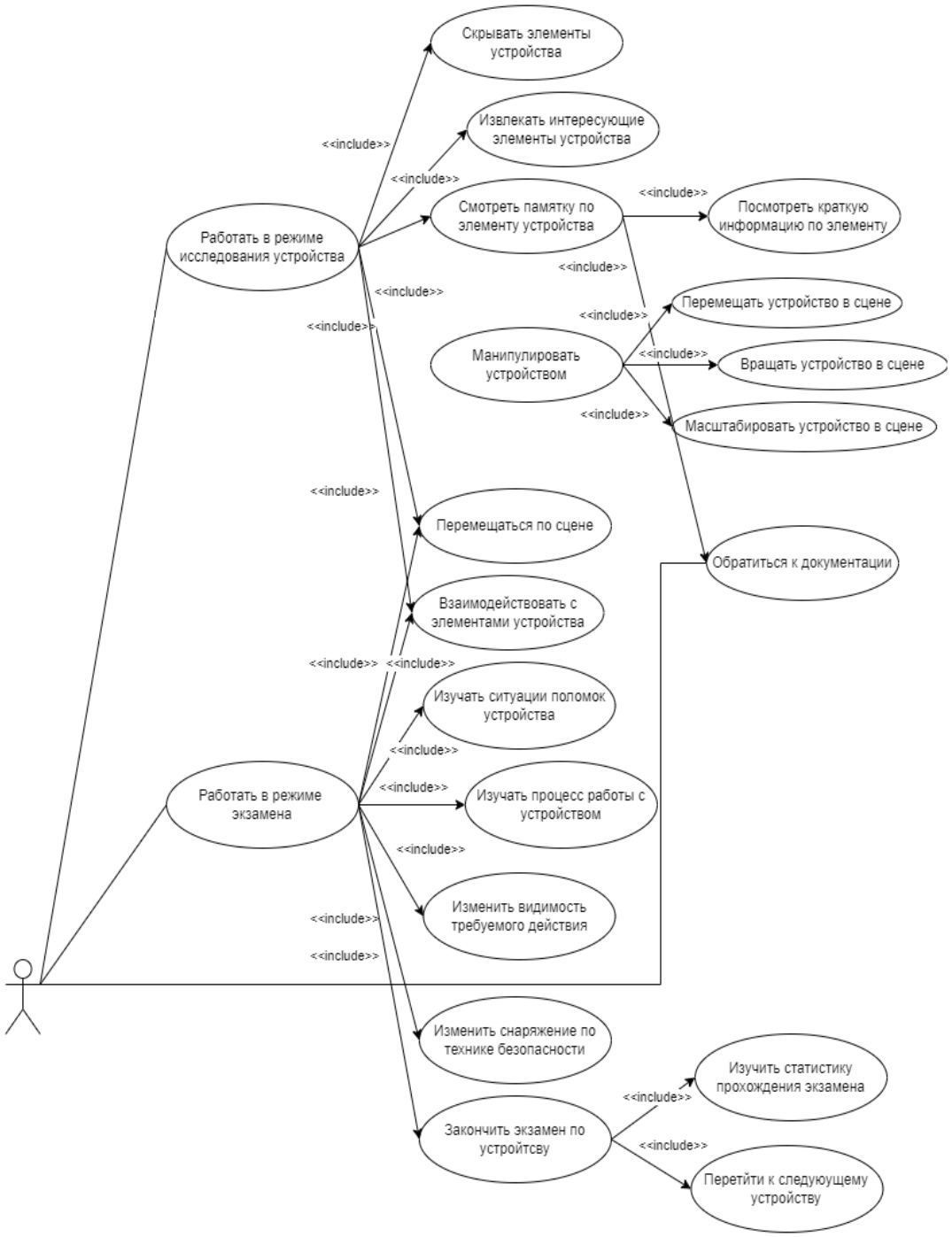


Рисунок 4 - Диаграмма вариантов использования при работе с симулятором

Создание контроллера персонажа. Контроллер персонажа — это скрипт, который управляет поведением и движением игрока. Он отвечает за перемещение, повороты, взаимодействие с окружающим миром и другими объектами в игре. Контроллер персонажа обычно содержит логику управления клавиатурой, мышью или геймпадом.

Создание обучающего сценария. Сценарий, заданный для каждого конкретного оборудования. Пользователю нужно правильно выполнить ряд действий, заложенных в программе для того, чтобы освоить работу с оборудованием.

Проверка правильности выполнения действий. Отдельный модуль в программе, позволяющий оценивать и контролировать выполняемые пользователем действия, а также давать подсказки.

Этапы работы с симуляторами

Первый этап в изучении — это теоретическое ознакомление, в котором студент сможет наглядно изучить устройство, а также получить описательную информацию об устройстве. Далее студенту будут продемонстрированы принципы работы устройства с пояснениями в виде текстовой информации.

После ознакомительного этапа следует декомпозиция. С помощью декомпозиции можно продемонстрировать внутреннее устройство и назначение составных частей устройства. Важно, чтобы у студента была возможность рассмотреть и изучить все необходимые детали. Декомпозиция также должна сопровождаться поясняющей информацией, например, в текстовом виде или анимационными роликами, демонстрирующими процесс работу или назначение детали. В зависимости от целей тренажера декомпозиция может быть анимированной, для демонстрации, например, сборки-разборки устройства. Важно, чтобы студент мог интерактивно взаимодействовать с устройством и его частями.

Варианты использования непосредственно при работе с устройством показаны в диаграмме на рисунке 1.

После ознакомления и теоретического изучения выбранного устройства студенту будет предложено пройти штатные и нештатные сценарии работы с устройством. Это могут быть те ситуации, с которыми сталкивается специалист при работе с реальным устройством. Такой экзаменационный режим в зависимости от потребностей изучаемого устройства может включать весть цикл работы с устройством, в том числе его монтаж, а также техобслуживания. При этом сценарий должен быть максимально приближен к реальности. Студент должен выполнять те действия, которые необходимы при работе с реальным оборудованием, в том числе, воспользоваться дополнительными инструментами или защитными средствами, строго выполнять последовательность действий и при несоблюдении получать сообщение об ошибке. После завершения работы с симулятором студенту также будет продемонстрирован его результат, свидетельствующий о правильности выполненных действий и об ошибках [10].

Выводы

Анализ показывает, что для полноценной интеграции симуляторов в образовательный процесс необходимо решить множество психолого-педагогических, дидактических и организационно-технологических проблем. Разработка подходящих методик использования симуляторов, обеспечение доступности необходимого оборудования и программного обеспечения, а также адаптация симуляторов под конкретные образовательные цели — все это требует серьезных усилий со стороны образовательных учреждений и специалистов в области образования.

Использование современных технологий, таких как виртуальная и дополненная реальность, может значительно обогатить образовательный процесс и повысить его эффективность. Однако для этого необходимо не только разработать соответствующие программы и оборудование, но и обеспечить профессиональную подготовку педагогов и студентов для работы с этими технологиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты // КиберЛенинка URL: https://cyberleninka.ru/ (дата обращения: 12.03.2024);
2. Интерактивные тренажеры и их роль в учебном процессе // КиберЛенинка URL: https://cyberleninka.ru/ (дата обращения: 12.03.2024);
3. Разработка обучающих курсов и симуляторов // SIKE URL: https://sike.ru/ (дата обращения: 10.02.2024);
4. Абзалиев К. Б., Данияров Н. Б., Сайдалин Д. М. и др. (2018) Сроки формирования навыков у хирургов по вязанию узлов // Виртуальные технологии в медицине. № 2 (20). С. 21-22;
5. Башмаков А. И., Башмаков И. А. (2003) Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. М.: Филинъ;
6. Болелов Э. А., Прохоров А. В., Прокофьев И. О. (2018) Авиационные тренажеры: учеб. пособие. М.: Изд. дом Академии Жуковского;
7. John A. Sokolowski, Catherine M. Banks. Principles of modeling and simulation: a multidisciplinary approach. — Hoboken, N.J. John Wiley, 2009. — 260 с. — ISBN 978-0-470-28943-3;
8. Murphy D, Challacombe B, Nedas T, Elhage O, Althoefer K, Seneviratne L, Dasgupta P (May 2007). «[Equipment and technology in robotics]». Arch. Esp. Urol. (in Spanish). 60 (4): 349-55;
9. J. Banks; J. Carson; B. Nelson; D. Nicol (2001). Discrete-Event System Simulation. Prentice Hall. p. 3. ISBN 978-0-13-088702-3;
10. А. А. Галиакберова, Э. Х. Галямова, Б. В. Киселев. Основы проектирования цифровых симуляторов для подготовки учителя математики // Вестник Минского университета. 2020. Т.8, №4. С.2;
11. Докинз М. Unity в действии: мультиплатформенная разработка на C#. — М.: ДМК Пресс, 2021. — 354 с.;
12. Unity Manual. — URL: https://docs.unity3d.com/ (дата обращения: 20.01.2024).

УДК 621.33

Бова[1] Е.В., Саушев[2] А.В., Шарашкин[3] С.В.

[1,2,3] Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

[1] elena.bova2015@bk.ru

[2] saushev@bk.ru

[3] S_sharashkin@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ СУДОВ

Аннотация. Анализируются возможные причины отказов, имевших место при эксплуатации систем электродвижения судов. Рассматриваются последствия отказов мощных ледоколов. Анализируется с точки зрения надежности состав электрооборудования гребных энергетических установок. Сделаны выводы и даны рекомендации по обеспечению работоспособности систем электродвижения судов.

Ключевые слова: гребная электрическая установка, система электродвижения, изоляция обмоток, надежность системы электродвижения, методы повышения надежности

Bova[1] E.V., Saushev[2] A.V., Sharashkin[3] S.V.

[1,2,3] Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St.-Petersburg, Russia

[1] elena.bova2015@bk.ru

[2] saushev@bk.ru

[3] S_sharashkin@mail.ru

IMPROVING THE RELIABILITY OF SHIP ELECTRIC PROPULSION SYSTEMS

Annotation. The possible causes of failures that occurred during the operation of electric propulsion systems of ships are analyzed. The consequences of failures of powerful icebreakers are considered. The composition of the electrical equipment of rowing power plants is analyzed from the point of view of reliability. Conclusions are drawn and recommendations are given to ensure the operability of electric propulsion systems of ships.

Keywords: rowing electric installation, electric propulsion system, insulation of windings, reliability of the electric propulsion system, methods of increasing reliability

В настоящее время при проведении пуско-наладочных работ на судах, вводимых в эксплуатацию, а также при проведении ходовых испытаний достаточно часто выявляются сбои в работе электротехнических устройств, входящих в состав системы электродвижения (СЭД) судна. Среди научно-технических специалистов, которые занимаются разработками и исследованиями в области судостроения существует мнение о том, что причиной выявляемых неисправностей могут служить ошибки проектирования, приводящие к снижению надежности отдельных электротехнических систем и СЭД в целом.

Задача повышения надежности СЭД представляет большой интерес для проектантов судов, в связи с большими финансовыми и репутационными издержками при выходе из строя критически важного оборудования. В качестве примера можно привести проблемы, появляющиеся в процессе введения в эксплуатацию мощных ледоколов, строительство которых ведется на Балтийском судостроительном заводе. Выход из строя гребного электродвигателя при проведении ходовых испытаний ледокола проекта 22220 привел к значительному уменьшению мощности СЭД и последующему ремонту судна. При проведении испытаний новейшего ледокола «Арктика» в начале 2020 года произошла авария на одном из главных двигателей. Несмотря на это обстоятельство, ледокол ввели в эксплуатацию, поскольку система электродвижения данного судна включает в себя 6 двигателей, работающих на 3 винта. Это позволило перераспределить нагрузку по пяти работающим двигателям. Тем не менее, после окончания зимнего периода навигации пришлось производить вывод ледокола из эксплуатации, распил корпуса и замену двигателя [1].

Для ввода в эксплуатацию судна, необходимо проведение контроля, надзора и освидетельствования по следующим критериям [2]:

- безопасность мореплавания;
- техническое соответствие;
- соответствие требованиям нормативной санитарно-эпидемиологической документации;
- соответствие нормам пожарной безопасности;
- соответствие экологическим критериям и др.

За контроль технического освидетельствования отвечает ФАУ «Российский морской регистр судоходства». Все электротехнические системы, которые используются на судах подлежат освидетельствованию. Оборудование судов классифицируют по различным критериям, которые определяют степень его важности для сохранения работоспособности и поддержания эксплуатационных характеристик систем на судне. Наиболее ответственным оборудованием является: основные и аварийные

генераторы, силовые трансформаторы и преобразователи, гребные электродвигатели, распределительное оборудование, кабельная сеть, электрооборудование винто-рулевых колонок и электрооборудование СЭД, системы охлаждения и вентиляции [3]. Тот факт, что электрооборудование СЭД относят к устройствам первой категории, говорит о важности его технической исправности для сохранения возможности эксплуатации судна.

Проведение ряда испытаний судового оборудования (предварительные, приемочные, ходовые, заводские, типовые и др.) до ввода судна в эксплуатацию не всегда позволяет выявить скрытые дефекты, которые проявляются только при длительных режимах работы. В то же время, для полномасштабных испытаний СЭД на стенде требуется привлечение значительных финансовых затрат и наличия сложного дорогостоящего испытательного оборудования. Обеспечение нагрузочными устройствами, необходимым измерительным оборудованием, вибростендами, климатическими камерами чаще всего невозможно. На сегодняшний день проведение имитации работы СЭД под нагрузкой в Российской Федерации возможно только на стенде ФГУП «Крыловский государственный научный центр».

На ледоколах типов «Москва», «Ленинград», «Киев» за время эксплуатации неоднократно происходили повреждения изоляции обмоток генераторов и двигателей. При разборе электрических машин выемка из пазов секций показала, что пазовая изоляция почти полностью непригодна из-за обугливания и выкрашивания. Изоляция секций пересохла по всей пазовой части, что вызвало подвижку секций и разрушение прокладок между ними. Таким образом, был сделан вывод о том, что применение изоляционных материалов низшего класса в гребных энергетических установках (ГЭД) судов ледового плавания с характерными для них режимами работы (ударных нагрузках и токовых перегрузках) приводит к ускоренному тепловому старению и разрушению пазовой и межвитковой изоляции [1].

Для повышения надежности сложных и ответственных систем применяются различные методы. Наиболее перспективными среди них применительно к СЭД являются следующие:

1) подбор оборудования с высоким значением параметра наработка на отказ. Теоретические и экспериментальные исследования по разработке принципиально новых методов и устройств с высокими показателями надежности. Например, как отмечается в работе [4], перспективным направлением является применение в СЭД реактивных электрических двигателей, в том числе с зубчатым статором и ротором, которые позволяют повысить надежность системы в целом за счет отсутствия обмоток на роторе. Выбор типа изоляции также существенно влияет на надежность гребного электродвигателя и системы в целом;

2) резервирование ответственного оборудования СЭД. Этот подход является классическим. Вместе с тем, следует отметить, что при его применении необходимо выполнять сравнительный анализ различных, возможных вариантов резервирования, включая кратность и глубину резервирования, по различным показателям надежности;

3) внедрение методов управления состоянием СЭД по критерию запаса работоспособности [5]. При этом важнейшее значение имеют методы мониторинга и оперативного диагностирования элементов СЭД [5], методы структурно-параметрического синтеза [6, 7], алгоритмы превентивной защиты [8] и др.

4) изучение и обобщение опыта эксплуатации различных судов и систематический анализ отказов в работе гребных энергетических установок, составляющих основу СЭД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарашкин, С. В. Неисправности гребных электрических установок при эксплуатации водного транспорта / С. В. Шарашкин // Транспортное дело России. - 2022. - № 4. - С. 138-140.

2. РД 31.20.01-97. Правила технической эксплуатации морских судов: утв. Распоряжением Первого заместителя Министра транспорта от 8 апреля 1997 года № МФ-34/672 // Основное руководство. - Москва, 1997. - 66 с.

3. Правила классификации и постройки морских судов Часть XI Электрическое оборудование. - Санкт-Петербург: ФАУ «Российский морской регистр судоходства», 2016. - 226 с.

4. Повышение надежности электроприводов на основе применения реактивных электрических машин / И. В. Белоусов, А. В. Саушев, В. Ф. Самосейко, Э. В. Ширяев // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. - Т. 2. - С. 231-234.

5. Саушев А.В. Основы управления состоянием электротехнических систем объектов водного транспорта. СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. 2015. 215 с

6. Показатели качества при структурно-параметрическом синтезе электромеханических систем / А. В. Саушев, Е. В. Бова, О. В. Крюков, В. О. Тырва // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2022. - Т. 2. - С. 156-161.

7. Абрамов О.В. О выборе стратегии оптимального параметрического синтеза в САПР // Надежность и качество сложных систем. 2021. №2 (34). С. 5-12.

8. Крюков, О. В. Алгоритм превентивной защиты судовой электроэнергетической системы / О. В. Крюков, А. В. Саушев, Н. В. Широков // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. - Т. 1. - С. 177-179.

ГЛАВА 8. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 159.9

Осипов[1] Ф.М., Прохоров[2] В.Ю.

[1] Академия дополнительного образования, Москва, Россия

[2] Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

[1] ted.75@inbox.ru

[2] prohorovv@yandex.ru

МЕТОДЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТЫ СО СТРЕССОМ И ДИСТРЕССОМ

Аннотация. В статье представлены элементы стресса, внешние и внутренние факторы возникновения стресса и различные способы управления стрессовыми состояниями.

Ключевые слова: стресс, внешние факторы, внутренние факторы, методы и средства управления стрессом, индивидуальная профилактика стресса, методы психологической саморегуляции

Osipov F.M., Prokhorov[2] V.Yu.

[1] Academy of Additional Education, Moscow, Russia

[2] Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

[1] ted.75@inbox.ru

[2] prohorovv@yandex.ru

METHODS OF PSYCHOLOGICAL WORK WITH STRESS AND DISTRESS

Annotation. The article presents elements of stress, external and internal factors of stress occurrence and various ways to manage stress states.

Keywords: stress, external factors, internal factors, methods and means of stress management, individual stress prevention, methods of psychological self-regulation

Введение

Важно учитывать, что стресс является функциональным состоянием, отражающим системный ответ организма и психики на воздействие внешней и внутренней среды.

Основными элементами стресса являются состояния:

- физиологического уровня – обеспечение двигательного и вегетативного компонентов состояния;
- психологического уровня – проявление психических процессов, характерологических качеств, особенностей активации, эмоционально-волевой регуляции;
- поведенческого уровня – точность и скорость выполняемых действий, целенаправленность активности, деятельности в форме речевого и двигательного поведения.

Также, по мнению ученых, можно выделить и социальные формы управления стрессом, к которым, в первую очередь, относятся воспитание личности [1-5]., формирование ее мировоззрения, целевых установок, смысложизненных ценностных ориентаций.

Стресс возникает при совокупности внешних (средовых) и внутренних (субъективных) факторов и зависит от индивидуальных (психологических, физиологических, профессиональных и пр.) особенностей конкретного индивида.

Внешние факторы: состояние стресса, экстремальные воздействия социальных, профессиональных, организационных, экономических, информационных и других характеристик окружающей среды.

Внутренние факторы: внутренний мир индивида, его субъективное восприятие того или иного события играют существенную роль в реакции на стресс.

Изучив различные классификации методов и средств управления стрессом, ученые отмечают, что максимально радикальным направлением предупреждения состояния стресса является устранение причин его развития. Вместе с тем, исследователи предлагают две группы способов непосредственного воздействия на стрессовое состояние.

Первая группа включает в себя:

нормализацию режима питания, сна и принятие БАДов, назначенных врачом-нутрициологом;

формакотерапию;

рефлексотерапию;

функциональную музыку и цветомузыку;

коммуникационные воздействия (личная психотерапия с психологом);

арт-терапию;

коммуникацию с животными.

Вторая группа предлагает:

нервно-мышечную релаксацию, медитацию;

сенсомоторную тренировку, включая пять основных анализаторов (вкус, запах, зрительное восприятие, тактильные ощущения, слуховые и звуковые, помогающие справится со стрессом, композиции);

аутогенную тренировку;

гимнастику и массаж, самомассаж, суджок терапию;

прогулки, ходьба на беговой дорожке;

групповые оздоровительные программы;

скандинавия ходьба;

плавание;

катание на лошади.

Индивидуальная профилактика стресса. Как показывают исследования ученых, для того, чтобы поставить стрессу надежный заслон, обеспечить истинную психологическую защиту, необходимо применять методы, приемы, основанные, в первую очередь, на знании человеком законов, управляющих работой его собственного организма, личная психотерапия, раскрывает индивидуальное видение ситуации, реакцию на неё и вырабатывает навыки находить ресурсные состояния в себе и для себя.

Методы психологической саморегуляции:

Расслабление мышц, позволяющее добиться снятия напряжения (как физического, так и психологического).

Необходимо помнить, что стресс, как и любые отрицательные эмоции человека, практически всегда сопровождается длительно сохраняющимся «застывшим» напряжением различных групп мышц.

Не случайно результатом стресса являются всевозможные болезненные состояния, основанные на спазмах органов и систем.

Для того, чтобы достичь состояния расслабления, рекомендуется большим и указательным пальцами хорошо промассировать на обоих ушах мочку.

Перед массажем целесообразно нанести на кончики массирующих пальцев немного ароматического масла, на которого нет аллергических реакций.

Большое значение как фактор индивидуальной профилактики стрессовых состояний имеет и самомассаж всего тела (от макушки головы до кончиков пальцев ног) с небольшим количеством приятного по запаху аромамасла.

При этом ученые считают, что для большего эффекта снятия стресса людям с холерическим и сангвиническим типом темперамента следует использовать подсолнечное масло; меланхоликам – кунжутное; флегматикам – кукурузное или горчичное.

После массажа следует принять горячий душ или ванну, что усилит эффект расслабления. Добиться эффекта расслабления помогут и специальные успокаивающие ванны. В горячую воду предлагается добавлять по 1/3 чашки имбиря и питьевой соды или экстракта розмарина, или лаванды, или мяты. После такой расслабляющей ванны целесообразно в течение 30 минут отдохнуть.

Можно использовать аромалампу, зажечь свечу.

Успокаивающее дыхание, уравновешивающее душевное состояние человека.

Наблюдение за ощущениями и состояниями и управление ими, что поможет устранить болезненные, дискомфортные состояния, связанные с отрицательными эмоциями. Здесь имеется в виду способность человека анализировать ситуации, которые изначально являются причиной стрессового состояния.

Ученые отмечают: если возможно изменить ситуацию, приведшую к стрессу, необходимо это незамедлительно сделать. Если же сделать ничего нельзя, с ситуацией необходимо смириться, принять ее как должное. Кроме того, очень важно постоянно осуществлять рефлексию своих мыслей, постепенно заменяя негативные мысли на позитивные, что поможет обрести покой и избежать стрессовой реакции. Работа с психологом необходима в познании собственных возможностей и ограничений.

Создание положительного эмоционального настроя, душевного равновесия. Необходимо помнить, что психологический стрессор всегда состоит из двух частей: ситуации, вызывающей стресс, и отношения человека к этой ситуации. Достаточно устранить любую из этих составляющих, чтобы причина стресса перестала действовать. Вместе с тем, необходимо помнить, что чаще всего стрессовое состояние вызывают различного рода эмоции.

Необходимо определить самую сильную эмоцию, которую Вы испытывали в течение последнего времени (в течение последних суток).

Необходимо сосредоточиться не этой эмоции.

Необходимо определить ситуацию, которая вызвала стрессовую реакцию (что происходило непосредственно перед тем, как у Вас данная сильная эмоция возникла?).

Необходимо вспомнить свои мысли и чувства в ответ на эту эмоцию.

Необходимо определить, какая из мыслей может вызывать такие же эмоции в аналогичных ситуациях.

Необходимо изучать стрессогенные мысли на протяжении достаточно длительного времени (недели или двух). Записывайте свои мысли в ситуациях, когда вы испытываете стресс. Проанализируйте собранную информацию. Вы можете отметить, что определенные мысли повторяются. Это те стереотипы вашего мышления, которые вызывают стресс при определенных ситуациях. Актуализация ретротравмирующих, защитных реакций психики, необходимо прорабатывать на личной терапии. Знать о какие ситуации или чувства, эмоции (снаружи или внутри) вы «ранитесь».

Установив ту мысль или чувства, эмоцию, которая в конкретной ситуации вызывает стресс, необходимо постараться найти ее противоположность (мысль, стресс нейтрализующую).

Как фактор повышения стрессоустойчивости ученые выделяют необходимость прохождения личной работы с психологом.

Еще одним способом индивидуальной профилактики стресса ученые выделяют *коррекцию минерального обмена* организма человека, работа с врачом-нутрициологом.

При использовании грамотно назначенных БАДов не только успокаивается нервная система, но и повышается иммунитет (что также очень важно в ситуациях стресса). Не случайно рекомендуется использование данных растительных и минеральных, также гомеопатических, назначенных врачом-гомеопатом препаратов для повышения как физической, так и интеллектуальной работоспособности.

Необходимо бережно с заботой, принятием, самоподдержкой, любовью относится к себе и окружающим вокруг.

«Я - о'кей и мир - о'кей», помогает формировать позитивные отношение к себе и миру в целом.

Также в качестве сильнейшего стрессового фактора учеными рассматривается социальная изоляция [6,7]. Именно поэтому необходимо избегать уединения с проблемами. Не следует стесняться, бояться сказать окружающим о том, что у вас случились неприятности и в чем они состоят. Важно уметь заявлять о себе, дать себе право просить помощи и поддержки у специалистов [8-11].

Также необходимо учитывать, что долговременный стресс, как и хроническое заболевание, вылечивается намного сложнее. Нельзя позволять конфликтам, которые зачастую являются причиной формирования стресса, затягиваться. Конфликтные ситуации необходимо разрешать как можно скорее. При этом, как считают многие исследователи, очень важно избавляться от раздражения, не затаивать обиды, самим винить, стыдить себя, проявлять по отношению к себе аутоагрессию, давать открытые послания, дабы избежать манипуляций. Прояснить ситуации, а не жить в мире проекций. Дать себе право *быть* и предъявлять чувства и эмоции от своего лица, например: «Я злюсь на тебя за то, что ты разбил(а) мою любимую чашку, но я люблю, ценю и уважаю тебя за то, что ты есть в моей жизни».

Крайне значимо:

- уметь хвалить, благодарить себя и окружающих;
- улыбаться себе и тем, кто рядом;
- обниматься, спрашивая при этом разрешения, чтобы не нарушать личные границы;
- обнимать себя чаще, в качестве поддержки;
- качаться на кресле-качалке или качелях (это из детства, малыша укачивают и обнимают, чтобы беспокойства и тревоги ушли прочь).

Учёные считают метод релаксации эффективным в снятии напряжения. Обучение релаксации, как правило, осуществляется в три этапа.

На первом этапе необходимо «просканировать тело» внутренним взглядом и постепенно целенаправленно расслаблять все мышечные зажимы в максимально удобных, комфортных условиях лёжа под приятную музыку, вдыхая запахи которые помогают расслабиться.

Второй этап - обучение дифференцированной релаксации во время занятия какой-либо деятельностью. Отложить все дела, закрыть глаза, просканировать телесные зажимы, тихонько позволить себе снять напряжения запуская в места напряжения приятное тепло, которое приносит комфорт и снимает напряжение, можно нежно обнять себя и погладить по «зажатым частям тела, по голове, успокаивая своего *внутреннего ребенка*.

На третьем этапе необходимо научиться отслеживать напряжение разных групп мышц при различных эмоциональных состояниях (волнении, страхе, тревоге, беспокойстве, чувстве одиночества, покинутости, отвержения, при внешнем шуме и внутреннем переживании) и сканировав тело постепенно во внутреннем диалоге, поглаживая себя, укутав в приятный на ощупь плед или шарф, палантин, обняв себя, спокойно вести диалог с *внутренним ребёнком*, постараться выяснить, что вызвало психофизиологический дискомфорт, при этом отключив конторолль, «плыть по течению», визуализируя приятные и ресурсные образы например: тёплый летний вечер с потрясающим закатом, услышать и почувствовать дуновение лёгкого ветерка.

Практические упражнения:

1 вариант.

Нахмурьте лоб, сильно напрягите лобные мышцы на 10 секунд; расслабьте их – тоже на 10 секунд. Повторите упражнение с ускорением, напрягая и расслабляя лобные мышцы с интервалом в 1 секунду. Осуществляйте при этом рефлексию своих ощущений.

Зажмурьтесь, напрягите веки на 10 секунд; затем – расслабьте (тоже на 10 секунд).

Наморщите нос на 10 секунд.

Крепко сожмите губы, расслабьте.

2 вариант.

Сядьте удобно, руки сложите на коленях, ноги поставьте на пол, найдите глазами предмет, на котором можно сосредоточить внимание.

Начните считать от 10 до 1, на каждом счете делая вдох и медленный выдох (выдох должен быть значительно длиннее вдоха).

Закройте глаза. Снова просчитайте от 10 до 1, задерживая дыхание на каждом счете. Медленно выдыхайте, представляя, что с каждым выдохом уменьшается и, наконец, полностью исчезает напряжение.

Не раскрывая глаз, считайте от 10 до 1. На этот раз представьте, что выдыхаемый вами воздух окрашен в теплые пастельные цвета. С каждым выдохом цветной туман сгущается, постепенно превращаясь в облака.

«Плывите» по этим облакам до тех пор, пока глаза не откроются сами. Дышите медленно, спокойно, отгораживаясь от всех ваших волнений и проблем при помощи воображения. Данный комплекс упражнений очень эффективен при стрессе.

3 вариант.

Квадратное дыхание: на 4 счета вдох – 4 счета задержка дыхания – 4 счета выдох – 4 счета задержка дыхания повторить 4–5 раз.

Дышать спокойно, можно вдыхать через нос, вдыхать ртом.

Выбирайте свой индивидуальный темп при выполнении упражнений, прислушивайтесь к внутренним ощущениям, чувствам и эмоциям.

Важно, научиться слушать и слышать себя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонова А.Б., Капица М.С. Методы субъективной оценки функциональных состояний человека. Практикум по инженерной психологии и эргономике / под ред. Стрелкова Ю.К. М. 2020. С.136-166.
2. Токарева О.В., Червоноокая С.М. Творчество как один из способов воспитания графической культуры. Культура и безопасность. 2023. № 2. С. 33-34.
3. Токарева О.В., Червоноокая С.М. Влияние дистанционных методов обучения на качество подготовки специалистов. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2010. № 2. С. 90-94.
4. Прохоров В.Ю. Итоговая государственная аттестация: учеб. пособие // В.Ю. Прохоров, В.В. Быков, И.Г. Голубев, М.И. Голубев, А.С. Назаренко. М.:ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2013. 211 с.
5. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Помощник в образовательном процессе среднего профессионального обучения. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т.1. С. 315-317.
6. Власов Е.В., Осипов Ф.М. Ценностная ориентация личности. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Т. 2. С. 221.
7. Осипов Ф.М. Психологические рекомендации при профессиональном стрессе и синдроме эмоционального выгорания. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 2. С. 187-188.
8. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. Разработка основных направлений совершенствования стиля руководителя в ВУЗах, районных поликлиниках и стационарах. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 351-353.
9. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю., Фролов С.В. Факторы формирования позитивного имиджа руководителя. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 356-350.
10. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Воспитательная работа с молодежью в организациях среднего профессионального образования. Тренинг как метод активного обучения. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2021. Т. 1. С. 238-240.
11. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Современные технологии обучения. Метод Case Study в преподавании технических дисциплин. Труды международного симпозиума «Надежность и качество», г. Пенза (ПГУ). 2020. Т. 1. С. 212-214.

УДК 159.9.37.01

Осипов[1] Ф.М., Прохоров[2] В.Ю.

[1] Академия дополнительного образования, Москва, Россия

[2] Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

[1] ted.75@inbox.ru

[2] prohorovv@yandex.ru

СТРЕССОГЕННОСТЬ И ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ПОМОЩЬ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ФАКТОРОВ СТРЕССА

Аннотация. В статье представлены основные стресс-факторы, рассмотрен алгоритм снижения стрессогенности ситуации, даны определения стрессоустойчивости.

Ключевые слова: стресс, стрессогенность, стрессоустойчивость, алгоритм снижения, личность, адаптация

Osipov[1] F.M., Prokhorov[2] V.Yu.

[1] Academy of Additional Education, Moscow, Russia

[2] Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

[1] ted.75@inbox.ru

[2] prohorovv@yandex.ru

STRESSOGENICITY AND PSYCHOLOGICAL ASSISTANCE TO REDUCE STRESSORS

Annotation. The article presents the main stress factors, considers the algorithm for reducing the stressogenicity of the situation, gives definitions of stress resistance.

Keywords: stress, stressogenicity, stress resistance, reduction algorithm, personality, adaptation

Введение

СТРЕССОГЕННОСТЬ = «ЗНАЧИМОСТЬ» * («НОВИЗНА И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ» + «РИСК» + «НАГРУЗКА» + «ЦЕЙТНОТ»)

В данной формуле представлены основные стресс-факторы, которые необходимо в работе с психологом проанализировать и выработать индивидуальные способы, прежде всего самопомощи. Важно честно ответить на вопросы для себя:

1. *Значимость ситуации.* «Что для себя ценного я потеряю, если откажусь от выполнения данной деятельности или от нахождения в данной ситуации?»

2. *Новизна и неопределенность.* Вызывают страх и беспокойство следующие факторы: отсутствие знаний, умений, навыков и информации, потеря контроля, необходимых для успешного осуществления данной деятельности или для безопасного нахождения в данной ситуации.

3. *Нагрузка.* «Что для себя ценного я теряю (время, усилия, средства)? Какую цену нужно заплатить, взяв на себя нагрузку без учета реальных возможностей и ограничений?». «Что конкретно мне важно получить, взяв на себя такого объёма нагрузку, что будет являться компенсацией за потраченные психофизиологические вложения в процесс данной деятельности?». «Действительно ли мне это нужно, важно, значимо, есть ли силы и возможности, ресурсы психики и физиологии?».

4. *Риск.* «Что самое страшное может произойти, если я пойду на риски и начну заниматься данной деятельностью?».

5. *Цейтнот.* Отсутствие необходимого индивидуального запаса времени, для спокойного обдумывания вариантов поведения, или для перехода в более ресурсное состояние, или для повторения работы в случае отрицательного опыта.

Если говорить о самом эффективном подходе к снижению стрессогенности ситуации, то выгоднее всего снижать значимость [1-6].

Отсюда становится понятно, что для эффективного управления стрессогенностью ситуации необходимо. хорошо различать типичные стресс-факторы; уметь определять силу их действия; знать в достаточном количестве эффективные и удобные методы купирования (снижения силы) этих стресс-факторов и уметь их применять.

В общем виде *алгоритм снижения стрессогенности ситуации* может выглядеть так:

Предварительно максимально честно понимать свои индивидуальные возможности и ограничения. Провести анализ и синтез предстоящей работы, ситуации. Выбрать приоритетные направления (наиболее сильные стресс-факторы). *Алгоритм снижения «Значимости» ситуации:* Определить варианты и цену отказа: «Какие я вижу способы ухода из данной ситуации и что я потеряю в каждом из рассмотренных случаев? К каким последствиям это приведет (негативным, позитивным)?».

«Как я могу снизить объективную и субъективную цену отказа? Как я могу на объективном и субъективном уровне уменьшить вероятность и/или негативные последствия отказа? Повысить позитивные?».

«Что я могу потерять, если начну реализацию стрессового проекта? Что приобрести? Могу ли я выйти из проекта в процессе его реализации? Какой ценой?».

Составить комплексный план снижения значимости ситуации и реализовать его.

Алгоритм снижения «Новизны и неопределенности» ситуации: Смоделировать и проанализировать предстоящую ситуацию. «Проиграть» возможные варианты развития ситуации, определить, какой информации не хватает. Добрать необходимую информацию. При явном недостатке информации подготовиться «психологически», при сопровождении специалиста психолога.

Составить профиль своей компетентности в этой области. Сравнить свой профиль с необходимым. Определить «зазор».

Проанализировать способы повышения своей компетентности и/или снижения сложности предстоящей деятельности. *Алгоритм снижения «Нагрузки» и «Риска».* Аналогично фактору «Значимости», но с учетом того, что потери вследствие дискомфорта возникают во время деятельности, самоотношение к разному опыту.

Алгоритм снижения значимости фактора «Недостатка времени» («Цейтнот»). Уметь выставлять приоритеты в своей деятельности исходя из психофизиологических особенностей, учитывая собственную индивидуальность.

Развитие стрессоустойчивости личности. Одновременно с освоением навыков управления стрессом у человека необходимо постепенно развивать *стрессоустойчивость.* Только это позволит ему проанализировать и оценить происходящее, подобрать эффективный способ коррекции ситуации, своего поведения и/или состояния и успешно применить этот способ, тем самым, выйдя из состояния стресса.

В узком понимании *стрессоустойчивость* – это способность сохранять высокие показатели психического функционирования и деятельности при возрастающих стрессовых нагрузках. Психологами предлагается ряд определений стрессоустойчивости: К.К. Платонов определяет *стрессоустойчивость* – как устойчивость моторных, сенсорных и умственных компонентов деятельности при возникшем эмоциональном переживании [7]. Б.Х. Варданян понимает *стрессоустойчивость* как свойство личности, обеспечивающее гармоническое отношение между всеми компонентами психической деятельности в эмоциогенной ситуации и, тем самым, содействующее успешному выполнению деятельности [8].

Таким образом, *стрессоустойчивостъ* в общем понимании – это способность противодействовать воздействию стрессоров, либо активно преобразовывая ситуацию, в которой они проявляются, либо, приспосабливаясь к ней. Быть «гибким» и бережно относиться к своей психофизиологии, поддерживать себя, хвалить, поощрять, принимать со всеми возможностями и ограничениями, максимально заботится о себе.

Основой исследований в области психологического стресса являются работы В. Кеннона о гомеостазе и Г. Селье о стресса как общем адаптационном синдроме.

По мнению Г. Селье, стресс – это неспецифическая реакция организма на любое требование. Любой стресс (положительный или отрицательный) оставляет после себя необратимые изменения, накопление которых обусловливает функциональные изменения в организме, его старение, физиологическое и психологическое «изнашивание».

В результате проведенных исследований было сформировано учение о психологическом стрессе, особенностях его зарождения и развития. Психологический стресс учеными определяется как реакция на особенности взаимодействия между личностью и окружающим миром [9,10]. Это состояние рассматривается исследователями как продукт когнитивных процессов, образа мыслей, оценки ситуации, знаний собственных ресурсных возможностей в плане преодоления стресса, важно работать с психологом для понимания своих возможностей и ограничений, вырабатывать индивидуальную психоэкологичную среду для себя.

Заключение.

Опора на духовно-нравственные, смысложизненные ценностные ориентации крайне значима и важна, для самопомощи в стрессовых ситуациях. Вместе с тем, исследователями до настоящего времени не до конца решен вопрос о механизмах преодоления стресса и адаптации к нему, что, несомненно, является значимым для обеспечения нормальной жизнедеятельности человека в столь сложном мире. В связи с этим, в настоящее время, как в отечественной, так и а зарубежной психологии проблема стресса подвергается всестороннему изучению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селье, Г. Стресс без дистресса / Общ. ред. Е. М. Крепса; предисл. Ю. М. Саарма ; пер. с англ. А. Н. Лука, И. С. Хорола. Москва: Прогресс. 1982. 126 с.
2. Осипов Ф.М. Принципы духовного развития личности. Вестник гуманитарного научного образования. 2015. № 1 (46). С. 31-34.
3. Токарева О.В., Червоноокая С.М. Влияние дистанционных методов обучения на качество подготовки специалистов. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2010. № 2. С. 90-94.
4. Токарева О.В., Червоноокая С.М. Творчество как один из способов воспитания графической культуры. Культура и безопасность. 2023. № 2. С. 33-34.
5. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. Разработка основных направлений совершенствования стиля руководителя в ВУЗах, районных поликлиниках и стационарах. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 351-353.
6. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю., Фролов С.В. Факторы формирования позитивного имиджа руководителя. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 356-350.
7. Осипов Ф.М. Ценностные ориентации воспитательной системы ВУЗа. Человеческий капитал. 2013. № 2 (50). С. 38-40.
8. Осипов Ф.М. Психологические рекомендации при профессиональном стрессе и синдроме эмоционального выгорания. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 2. С. 187-188.
9. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Воспитательная работа с молодежью в организациях среднего профессионального образования. Тренинг как метод активного обучения. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2021. Т. 1. С. 238-240.
10. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Современные технологии обучения. Метод Case Study в преподавании технических дисциплин. Труды международного симпозиума «Надежность и качество», г. Пенза (ПГУ). 2020. Т. 1. С. 212-214.

УДК 159.9.37.01

Осипов Ф.М.
Академия дополнительного образования, Москва, Россия
ted.75@inbox.ru

ИСТОРИЯ ВЕГЕТОТЕРАПИИ: В. РАЙХ В РАБОТЕ СО СТРЕССОМ И ДИСТРЕССОМ

Аннотация. В статье рассматриваются новшества, введенные Райхом в области психологии тела и телесно-ориентированной психотерапии. Описывается суть терапии Райха.
Ключевые слова: заключение характера в панцирь, вегетотерапия, эмоции, эмоциональные состояния, основные защитные сегменты, терапия Райха

Osipov[1] F.M.
Academy of Additional Education, Moscow, Russia
ted.75@inbox.ru

HISTORY OF VEGETATIVE THERAPY: V. REICH IN DEALING WITH STRESS AND DISTRESS

Annotation. The article examines the innovations introduced by Reich in the field of body psychology and body-oriented psychotherapy. The essence of Reich's therapy is described.
Keywords: character imprisonment in the carapace, vegetotherapy, emotions, emotional states, the main protective segments, Reich therapy

Введение. В. Райх начинал свою работу в 1920-е гг. как психоаналитик непосредственно под руководством З.Фрейда. Первым принципиальным новшеством, введенным Райхом в практику психоанализа был переход от анализа отдельных симптомов к анализу характера пациента [1]. Вторым открытием Райха стал феномен «заключения характера в панцирь», или механизации душевной жизни под воздействием общественных стереотипов и авторитарной семейной атмосферы, возникающего как средство подавления и сдерживания эмоций.

То, что зависит от человека – сдерживать экспрессивные компоненты эмоций за счет мышечного напряжения. Тем самым на функциональном, физиологическом уровне райховский «характерный панцирь» идентичен «мышечному панцирю». Третьим постулатом системы Райха стало введенное им понятие «биопсихической», или вегетативной энергии, нормальное распределение которой в организме является основой душевного и физического здоровья, а нарушения свободного протекания составляют патогенез неврозов и других болезненных состояний. При этом источник энергии невроза создается в процессе обыденной душевной жизни дисбалансом между накоплением и расходованием насыщающей ее вегетативной энергии (в терминах современной физиологии – вегетативного обеспечения эмоций). Тем самым, по мысли Райха, невротическое состояние отличается от психологического здоровья именно наличием застойного эмоционального возбуждения и его телесного эквивалента – застойных очагов вегетативной энергии (иными словами, неотреагированных эмоций).

Соответственно Райхом был предложен патогенетический способ лечения неврозов – вегетотерапия, или восстановление нормального протекания вегетативной энергии путем воздействия на блокирующие ее поток участки хронически повышенного мышечного тонуса, а также особым образом регулируемого дыхания.

Любопытно, что к созданию методики вегетотерапии Райха подтолкнули его наблюдения над больными шизофренией с кататоническим синдромом. Как он писал впоследствии в работе «Функция оргазма»: «Известно, что ступорозные кататоники, которые внезапно заболевают и обнаруживают способность к приступам ярости, очень легко становятся снова нормальными людьми. Научившись содействовать появлению припадков бешенства у аффективно заблокированных невротиков с мышечной гипертонией, я регулярно стал достигать значительного улучшения общего состояния» [2,3]. Физиология этого процесса представлялась следующей: «Отвердевание мышц при ступорозной кататонии становится всеобъемлющим. Возможности энергетической разрядки все более сужаются. Во время приступа бешенства через отвердевшие мышцы из вегетативного центра, еще сохранившего подвижность, прорывается сильный импульс, высвобождая тем самым связанную мышечную энергию» [4].

Райх считал, что характер человека включает постоянный «набор» защит. Хронические мышечные зажимы блокируют 3 основных эмоциональных состояния: тревожность, гнев и сексуальное возбуждение. Райх пришёл к выводу, что мышечный и психологический панцирь – одно и то же. Хронические напряжения блокируют энергетические потоки, лежащие в основе сильных эмоций. Защитный панцирь не дает человеку переживать сильные эмоции, ограничивая и искажая выражение чувств [5,6]. Эмоции, блокированные таким образом, никогда не устраняются, потому что не могут полностью проявиться. Эти блоки (мышечные зажимы) искажают и разрушают естественные чувства, в частности подавляют сексуальные чувства, мешают полноценному оргазму. По Райху, полное освобождение от заблокированной эмоции происходит только после ее глубокого переживания.

Райх начал с применения техники характерного анализа к физическим позам. Он анализировал в деталях позы пациента и его физические привычки, чтобы дать пациентам осознать, как они подавляют жизненные чувства различных частях тела. Райх просил пациентов усиливать определенный зажим, чтобы лучше осознать его, прочувствовать его и выявить эмоцию, которая связана в этой части тела. Он увидел, что только после того, как подавляемая эмоция находит свое выражение, пациент может полностью отказаться от хронического напряжения или зажима. Райх постоянно старался дать пациентам осознать их характерные черты. Он часто имитировал эти черты или позы или просил самих пациентов повторять или

преувеличивать штамп поведения – например, нервную улыбку. Когда пациенты перестают принимать свой характерный способ поведения как само собой разумеющийся, их мотивация к изменению возрастает. Он полагал, что каждое характерное отношение имеет соответствующую физическую позу, и что характер индивидуума выражается в его теле в виде мышечной ригидности или мускульного панциря.

Райх полагал, что хронические напряжения блокируют энергетические потоки, лежащие в основе сильных эмоций. Защитный панцирь не дает человеку переживать сильные эмоции, ограничивает и искажает выражение чувств. По Райху, человек может освободиться от блокированной эмоции, только полностью пережив ее, причём отрицательные эмоции должны быть проработаны прежде, чем могут быть пережиты позитивные чувства, которые ими замещаются.

Райх подчеркивал важность освобождения, расслабления мышечного панциря в дополнение к анализу психологического материала, потому что он рассматривал ум и тело как нерасторжимое единство. Райх стремился к распусканию защитного панциря, блоков чувствования, которые искажают психологическое и физическое функционирование человека; рассматривал терапию как средство восстановления свободного протекания энергии через тело посредством систематического освобождения блоков мускульного панциря, поэтому и назвал свой метод лечения неврозов «биофизической оргонной терапией». При работе с мышечным панцирем Райх обнаружил, что освобождение хронически зажатых мышц часто порождает особые физические ощущения – чувство тепла или холода, покалывание, зуд или эмоциональный подъем. Он полагал, что эти ощущения возникают в результате высвобождения вегетативной или биологической энергии. Райх считал, что мышечный панцирь представляет собой 7 основных защитных сегментов, состоящих из мышц и органов соответствующих функций [7]. Эти сегменты образуют ряд из 7 горизонтальных колец, находящихся под прямым углом к позвоночнику. Основные сегменты панциря располагаются в области глаз, рта, шеи, груди, диафрагмы, живота и таза. *Глаза.* Защитный панцирь в области глаз проявляется в неподвижности лба и «пустом» выражении глаз. Распускание осуществляется посредством раскрывания глаз так широко, как только возможно, а также свободными движениями глаз, вращением и смотрением из сторон в сторону. *Рот.* Оральный сегмент включает мышцы подбородка, горла и затылка. Этот сегмент удерживает эмоциональное выражение плача, крика, гнева, кусания, сосания, гримасничанья. Защитный панцирь может быть расслаблен клиентом путем имитации плача, произнесения звуков, мобилизующих губы, кусания, рвотных движений и посредством прямой работы над соответствующими мышцами. *Шея.* Этот сегмент включает мышцы шеи и язык. Защитный панцирь удерживает в основном гнев, крик и плач. Средством распускания панциря являются крики, вопли, рвотные движения и т.п. *Грудь.* Широкие мышцы груди, мышцы плеч, лопаток, грудная клетка, руки с кистями. Этот сегмент сдерживает смех, печаль, страстность. Сдерживание дыхания, являющееся важным средством подавления любой эмоции, осуществляется в значительной степени в груди. Панцирь может быть распущен посредством работы над дыханием, в особенности осуществлением полного выдоха. *Диафрагма.* Этот сегмент включает диафрагму, солнечное сплетение, различные внутренние органы, мышцы нижних позвонков. Панцирь здесь удерживает в основном сильный гнев. Нужно в значительной степени распустить первые четыре сегмента, прежде чем перейти к распусканию пятого посредством работы с дыханием и рвотным рефлексом. *Живот.* Сегмент живота включает широкие мышцы живота и мышцы спины. Напряжение поясничных мышц связано со страхом нападения. Защитный панцирь связан с подавлением злости, неприязни. *Таз.* Все мышцы таза и нижних конечностей. Чем сильнее защитный панцирь, тем более таз вытянут назад, торчит назад. Тазовый панцирь служит подавлению возбуждения, гнева, удовольствия. Панцирь может быть распущен посредством мобилизации таза, а затем лягания ногами и ударения кушетки тазом.

Терапия Райха состоит, прежде всего в распускании панциря в каждом сегменте, начиная с глаз и кончая тазом. Каждый сегмент более или менее независим, с ним можно работать отдельно. В распускании панциря используются 3 типа средств: накопление в теле энергии посредством глубокого дыхания; прямое воздействие на хронические мышечные зажимы посредством давления, пощипывания и т.д.; открытое рассмотрение совместно с клиентом сопротивлений и эмоциональных ограничений, которые при этом выявляются.

Заключение. Райх обнаружил, что по мере того, как пациенты обретают способность полной «генитальной отдачи», фундаментально меняется все их бытие и стиль жизни. Разработанные Райхом методики дыхания, эмоционального раскрепощения, усиления напряжения в заблокированных областях тела легли в основу биоэнергетики и структурной интеграции (рольфинга) и других психотехник. Таким образом, Райх фактически является первопроходцем в области психологии тела и телесно-ориентированной психотерапии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Райх В. Анализ характера. М.: Апрель Пресс. ЭКСМО-Пресс. 2000.
2. Власов Е.В., Осипов Ф.М. Ценностная ориентация личности. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Т. 2. С. 221.
3. Осипов Ф.М. Принципы духовного развития личности. Вестник гуманитарного научного образования. 2015. № 1 (46). С. 31-34.
4. Сандомирский М.Е. Психосоматика и телесная терапия. Практическое руководство. М: Независимая фирма «Класс». 2018.
5. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Воспитательная работа с молодежью в организациях среднего профессионального образования. Тренинг как метод активного обучения. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2021. Т. 1. С. 238-240.
6. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Современные технологии обучения. Метод Case Study в преподавании технических дисциплин. Труды международного симпозиума «Надежность и качество», г. Пенза (ПГУ). 2020. Т. 1. С. 212-214.
7. Лоуэн А. Терапия, которая использует язык тела. С-Пб. 2018.

УДК 159.9.37.04

Осипов Ф.М.
Академия дополнительного образования, Москва, Россия
ted.75@inbox.ru

СИМПТОМЫ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ВЫГОРАНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются симптомы профессионального выгорания, их групповое объединение, проявления и последствия.
Ключевые слова: симптомы, профессиональное выгорание, эмоциональное выгорание, группа симптомов

Osipov F.M.
Academy of Additional Education, Moscow, Russia
ted.75@inbox.ru

SYMPTOMS OF EMOTIONAL BURNOUT

Annotation. The article discusses the symptoms of professional burnout, their group association, manifestations and consequences.
Keywords: symptoms, professional burnout, emotional burnout, group of symptoms

Введение

Симптомы, составляющие синдром профессионального выгорания, условно можно разделить на три основные группы [1]:

психофизические;

социально-психологические;

поведенческие.

К *психофизическим симптомам* профессионального выгорания относятся такие, как:

чувство постоянной, непроходящей усталости не только по вечерам, но и по утрам, сразу после сна (симптом хронической усталости);

ощущение эмоционального и физического истощения;

снижение восприимчивости и реактивности на изменения внешней среды (отсутствие реакции любопытства на фактор новизны или реакции страха на опасную ситуацию) [2];

общая астенизация (слабость, снижение активности и энергии, ухудшение биохимии крови и гормональных показателей);

частые беспричинные головные боли; постоянные расстройства желудочно-кишечного тракта;

резкая потеря или резкое увеличение веса;

полная или частичная бессонница: быстрое засыпание и отсутствие сна ранним утром, начиная с 4 часов утра или, наоборот, неспособность заснуть вечером до 2-3 часов ночи и «тяжелое» пробуждение утром, когда нужно вставать на работу [3];

постоянное заторможенное, сонливое состояние и желание спать в течение всего дня;

одышка или нарушения дыхания при физической или эмоциональной нагрузке;

заметное снижение внешней и внутренней сенсорной чувствительности: ухудшение зрения, слуха, обоняния и осязания, потеря внутренних, телесных ощущений.

К социально-психологическим симптомам профессионального выгорания относятся такие неприятные ощущения и реакции, как:

безразличие, скука, пассивность и депрессия: пониженный эмоциональный тонус, чувство подавленности [4];

повышенная раздражительность на незначительные, мелкие события;

частые нервные «срывы»: вспышки немотивированного гнева или отказы от общения, «уход в себя»;

постоянное переживание негативных эмоций, для которых во внешней ситуации причин нет: чувство вины, обиды, подозрительности, стыда, скованности;

чувство неосознанного беспокойства и повышенной тревожности: ощущение, что «что-то не так, как надо»;

чувство гиперответственности и постоянное чувство страха, что «не получится» или человек «не справится»;

общая негативная установка на жизненные и профессиональные перспективы (по типу «Как ни старайся, все равно ничего не получится»).

К поведенческим симптомам профессионального выгорания относятся следующие поступки и формы поведения работника [5]:

ощущение, что работа становится все тяжелее и тяжелее, а выполнять ее - все труднее и труднее;

сотрудник заметно меняет свой рабочий режим дня (рано приходит на работу и поздно уходит либо, наоборот, поздно приходит на работу и рано уходит);

вне зависимости от объективной необходимости работник постоянно берет работу домой, но дома ее не делает;

руководитель отказывается от принятия решений, формулируя различные причины для объяснений себе и другим [6];

чувство бесполезности, неверие в улучшения, снижение энтузиазма по отношению к работе, безразличие к результатам;

невыполнение важных, приоритетных задач и «застревание» на мелких деталях, не соответствующая служебным требованиям, трата большей части рабочего времени на мало осознаваемое или не осознаваемое выполнение автоматических и элементарных действий;

дистанцированность от сотрудников и клиентов, повышение неадекватной критичности;

злоупотребление алкоголем, резкое возрастание выкуренных за день сигарет, применение наркотических средств и др.

С меньшим риском для здоровья и менее выраженным снижением эффективности синдром профессионального выгорания переживают работники, которые характеризуются следующими особенностями:

В первую очередь это люди, имеющие хорошее здоровье и сознательно, целенаправленно заботящиеся о своем физическом состоянии (они постоянно занимаются спортом и поддерживают здоровый образ жизни). Это люди, имеющие высокую самооценку и уверенность в себе, своих способностях и возможностях.

Необходимо также подчеркнуть, что профессиональное выгорание меньше касается людей, имеющих опыт успешного преодоления профессионального стресса и способных конструктивно меняться в напряженных условиях [7,8].

Если говорить о характере таких людей, то необходимо выделить такие индивидуально-психологические особенности, как высокая подвижность, открытость, общительность, самостоятельность и стремление опираться на собственные силы.

Важной отличительной чертой людей, устойчивых к профессиональному выгоранию, является их способность формировать и поддерживать в себе позитивные, оптимистичные установки и ценности, как в отношении самих себя, так и других людей и жизни вообще.

Замечено, что симптоматика профессионального выгорания может быть «инфекционной» и проявляться не только у отдельных работников. Нередко встречается профессиональное выгорание целых организаций, которое проявляется в том, что у подавляющего большинства сотрудников присутствует внутреннее физическое или эмоциональное состояние с одними и теми же симптомами, а также одни и те же формы поведения (налицо «эффект массового эмоционального заражения»). В таких случаях заметно «стираются» индивидуальные различия между работниками, они становятся неестественно похожими и одинаковыми, как бы «на одно лицо». Люди становятся пессимистами, у которых нет веры в позитивные изменения на работе и возможность что-то изменить собственными усилиями.

Причинами профессионального выгорания организации выступают постоянные противоречия в стратегическом и тактическом руководстве; чрезмерные, невыполнимые требования к работникам; передача ответственности сотрудникам, не имеющим полномочий; отсутствие объективных критериев для оценки результатов труда [9]; неэффективная система мотивирования и стимулирования персонала, а также, выраженная пассивность самих работников.

Как синдром, выгорание включает в себя группу симптомов, которые проявляются вместе. Но так как выгорание - процесс индивидуальный, не все из них обнаруживаются одновременно, как правило, в картине выгорания имеют место несколько наиболее выраженных симптомов:

общее чувство усталости;

чувство эмоциональной опустошенности;

неприязнь к работе;

усилившееся сопротивление выходу на работу;

специалист поздно появляется на работе, и рано уходит, часто опаздывает;

неопределенное чувство, будто что-то не так, неопределенное беспокойство, тревога;

работа становится все тяжелее и тяжелее, а способность выполнять ее - все меньше и меньше;

чувство вины, самообвинения, депрессия, подверженность несчастным случаям;

неуверенность, сомнения в своей компетентности;

неспособность принимать решения;

чувство разочарования, снижение уровня энтузиазма, утрачивается творческий подход к работе;

трудности с концентрацией внимания;

раздражительность, обидчивость;

легко возникающее чувство гнева;

негативный настрой, пессимистичные мысли;

утрата чувства юмора;

чрезмерно повышенное чувство ответственности за пациентов, клиентов;

растущее избегание: стремление к дистанцированию от коллег, склонность к уединению (старается меньше встречаться с ними, отказывается от встреч, общается в безличной формальной манере);

чувство невостребованности, подозрительность;

жесткость и ригидность в мышлении, изменения требуют энергии и риска, являясь большой угрозой для истощенной личности;

равнодушие и бессилие;

общая негативная установка на жизненные перспективы, ощущение бессмысленности происходящих событий;

мысли о смене места работы, профессии;

злоупотребления химическими агентами (кофе, табак, алкоголь, наркотики).

Люди, подверженные выгоранию, склонны испытывать большое количество проблем, связанных со здоровьем.

Проявления синдрома выгорания на физическом уровне могут включать в себя:

повышенную утомляемость, чувство истощения на протяжении всего дня;

восприимчивость к изменениям показателей внешней среды;

частые головные боли;

расстройства желудочно-кишечного тракта;

отсутствие аппетита или переедание, что ведет к избытку или недостатку веса;

нарушения сна, бессонница;

повышенная восприимчивость к инфекциям.

Заключение

Выгорание и неудовлетворенность работой оказывают влияние на семейные отношения – возрастает количество семейных конфликтов [10,11]. Поскольку эмоциональное напряжение не снимается во время работы, оно часто дает о себе знать дома. После насыщенного дня, проведенного с людьми, профессионал испытывает потребность уйти на некоторое время от всех людей, и это желание одиночества обычно реализуется за счет семьи и друзей [12,13].

Таким образом, последствия выгорания достаточно серьезны, и проявляются во всех сферах: на физическом, эмоциональном и когнитивном уровне, на уровне межличностных отношений с коллегами, клиентами и семьей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водопьянова И.Е. Синдром психического выгорания и его профилактика // Психология профессионального здоровья. Учебное пособие / Под ред. проф. Г.С. Никифорова. СПб.: Речь. 2020. 480 с.

2. Осипов Ф.М. Формирование профессионально значимых смысложизненных ориентаций будущих психологов. Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата психологических наук / Нижегор. гос. архитектур.- строит. ун-т. Нижний Новгород, 2015.

3. Васильева Е.С., Осипов Ф.М. Содержание и структура ценностных ориентаций. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Т.2. С. 220-221.

4. Власов Е.В., Осипов Ф.М. Ценностная ориентация личности. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Т. 2. С. 221.

5. Осипов Ф.М. Психологические рекомендации при профессиональном стрессе и синдроме эмоционального выгорания. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 2. С. 187-188.

6. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю., Фролов С.В. Факторы формирования позитивного имиджа руководителя. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 356-350.

7. Осипов Ф.М. Особенности влияния профессиональной деятельности на здоровье врачей, причины возникновения синдрома эмоционального выгорания у врачей. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 2. С. 185-186.

8. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. Определение и понятия «чрезвычайная ситуация». Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2022. Т. 1. С. 87- 89.

9. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. Разработка основных направлений совершенствования стиля руководителя в ВУЗах, районных поликлиниках и стационарах. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 351-353.

10. Токарева О.В., Червоноокая С.М. Влияние дистанционных методов обучения на качество подготовки специалистов. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2010. № 2. С. 90-94.

11. Прохоров В.Ю. Итоговая государственная аттестация: учеб. пособие // В.Ю. Прохоров, В.В. Быков, И.Г. Голубев, М.И. Голубев. М.:ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2013. 211 с.

12. Токарева О.В., Червоноокая С.М. Творчество как один из способов воспитания графической культуры. Культура и безопасность. 2023. № 2. С. 33-34.

13. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Помощник в образовательном процессе среднего профессионального обучения. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т.1. С. 315-317.

УДК 159.9

Осипов Ф.М.
Академия дополнительного образования, Москва, Россия
ted.75@inbox.ru

СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ЦЕННОСТНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ

Аннотация. В статье рассматриваются классификации и подходы к определению ценностных ориентаций, типы систем ценностей, совокупность внутренних свойств личности и внешних условий социокультурной действительности, определяющих формирование целостной системы ценностных ориентаций.
Ключевые слова: ценности, ценностные ориентации, индивид, типы систем ценностей, свойства личности, социальные ценности, внутренние и внешние факторы

Osipov F.M.
Academy of Additional Education, Moscow, Russia
ted.75@inbox.ru

CONTENT AND STRUCTURE OF VALUE ORIENTATIONS

Annotation. The article discusses classifications and approaches to determining value orientations, types of value systems, a set of internal personality properties and external conditions of sociocultural reality that determine the formation of an integral system of value orientations.
Keywords: values, value orientations, individual, types of value systems, personality traits, social values, internal and external factors

Введение

Существует большое количество классификаций и подходов к изучению ценностных ориентаций [1-5]. Можно утверждать, что определение ценностных ориентаций начинается с попытки их соотнесения с другими понятиями. Тем не менее, в каждом теоретическом подходе можно наблюдать определенный, фиксированный набор ценностей, который структурируется путем предпочтения индивидом каждой их них.

Для более целостного понимания ценностных ориентаций ученые выделяют типы систем ценностей, основные виды по уровню их организации [6-12]. Так В.В. Гаврилюк и Н.А. Трикоз в одной из своих публикаций выделяют четыре основных типа систем ценностей:

1. Смысложизненную систему, объединяющую ценности человеческой жизни, определяющую цели бытия, человеческой сущности, ценности свободы, правды, красоты, т.е. общечеловеческие ценности;

2. Витальную систему – это ценности сохранения и поддержания повседневной жизни, здоровья, безопасности, комфорта;

3. Интеракционистскую систему – это ценности и суждения важные в межличностном и групповом общении: хорошие отношения, спокойная совесть, власть, взаимопомощь;

4.Ссоциализационную систему – ценности, которые определяют процесс формирования личности: социально одобряемые и наоборот духовные, социальные, материальные; духовные ценности в свою очередь дифференцируются на познавательные, эстетические, гуманистические и др.; социальные – на ценности социального уважения, социальных достижений, социальной активности. Ценности, закрепляющиеся в жизнедеятельности и проявляющиеся как свойства личности: общительность, любознательность, активность, доминантность и т.п. Наиболее характерные способы поведения личности, выраженные в реализации и закреплении ценностей свойств.

Получены эмпирические данные, доказывающие, что ценности-идеалы связаны с конкретными формами и способами поведения; формированию этих ценностей способствуют определенные личностные свойства, хотя связь личностных свойств и ценностей носит многозначный характер [13].

Так, одно и то же свойство соотносимо с разными ценностями, а последние – одновременно с несколькими способами поведения. Установлено, что ценности – идеалы могут реализоваться через поведение, обусловленной либо данной ценностью, либо направленное на реализацию других ценностей. Вместе с тем они могут оставаться не реализованными, что может явиться причиной внутриличностного конфликта. Конкретное проявление ценностей в поведении человека зависит от особенностей структуры ценностей данной личности. Таковы, по мнению ученого-психолога, состав, структура и динамика ценностных ориентаций личности.

Шварцем предложена классификация ценностей (их насчитывается десять типов), в которой типы ценностей практически интерпретированы как способы организации категорий. Сами по себе ценности разделяются на два класса: терминальные, представляющие собой критерии выбора цели и способов ее достижения, и инструментальные – критерии, стандарты оценки модуса поведения.

Таким образом, для Шварца ценности – не свойства, присущие объекту, а именно критерии, по которым человек действует, оценивает свои действия и строит свое отношение к миру.

Ценности включают пять необходимых черт:

а) они всегда есть представления или верования;

б) знания о состояниях, которых желательно достичь;

в) следы специфических ситуаций;

г) содержат возможность селекции каких-то событий в жизни человека или в эволюции его поведения;

д) имеют некоторую степень важности.

Выделение этих характерных черт ценностей весьма продуктивно для понимания их роли в социальном познании: во-первых, потому, что сами ценности трактованы как когнитивные элементы («знания», «представления»), а во-вторых, потому, что обозначен механизм их воздействия на сам процесс познания («возможность селекции каких-то событий»).

Мы опираемся на положения концепции М. Рокича, то есть, рассматриваем иерархию ценностей как структуру предпочтений индивидом каждой ценности. Согласно классификации ценностей Рокича мы рассматривали два класса ценностей – терминальные (ценности – цели) и инструментальные (ценности – средства) (Рокич, 1973). В рамках данной теории общее число ценностей сравнительно невелико, и в связи с этим люди обладают одними и теми же ценностями, но различия можно наблюдать не в самих ценностях, а в системе их организации. То есть, изучать необходимо именно ценностные ориентации.

Этой же задаче служит и разработанная Шварцем типология различного содержания ценностей, необходимых для формирования сознательных целей человека, а также описание условий согласования потребностей индивида с интересами общества (удовлетворение биологических потребностей, потребностей в социальных контактах и потребностей выживания, благополучия группы).

Впоследствии проблема ценностей была и более определенно включена в контекст социального познания. А. Тэшфелу принадлежит идея рассмотрения ценностей как одного из детерминант этого процесса.

Индивид осознает мир через призму ценностей; социальный мир, естественно, рассматривается через призму социальных ценностей. Они могут быть разного уровня: глобальные – добро, красота, свобода и пр. и приближенные к обыденной жизни – хорошая семья, благополучие, дети и т.п. Для каждого конкретного человека существует проблема соотнесения ценностей общества, культуры с его собственными ценностями.

МакГвайром предложено понятие «ценностное поле» личности, которым обозначается тот репертуар ценностей, который значим для каждого человека.

Своеобразную трактовку практической значимости личностного репертуара ценностей дал в свое время Г. Олпорт, который назвал такой репертуар «ключом», «намеком», при помощи которого человек может, например, лучше понять своего врага.

Важнейший компонент социального контекста социального познания – социальные ценности. Их влияние на процесс категоризации особенно значимо потому, что по сравнению с теми искажениями информации, которые связаны с недостатком ее или с индивидуальными психологическими особенностями познающего субъекта, «субъективность» оценок под воздействием социальных ценностей значительно больше. Это обусловлено тем, что дифференциация явлений в терминах ценностей в социальном мире распространена значительно больше, чем в физическом. Поэтому проблема ценностей занимает важное место в структуре как социологического, так и психологического знания. В социологии, в частности, предлагается понимать ценности как «общепринятые убеждения относительно целей, к которым человек должен стремиться»; в других работах высказан ряд идей, непосредственно относящихся и к системе социально-психологического знания.

Так, В.А. Ядов и А.Г. Здравомыслов метафорически называют ценности «осью сознания», полагая, что вокруг этой оси организуется восприятие человеком мира. Такой контекст рассмотрения проблемы ценностей достаточно приближен к психологическому подходу.

В психологии ценности рассматриваются как абстрактные цели, которые нужны человеку для того, чтобы иметь некоторую «точку отсчета» для конкретного оценивания тех или иных событий. Ценности выступают как регуляторы социального поведения личности и группы. Однако они не действуют непосредственно: ценности реализуются в системе ценностных ориентации человека как важнейшего элемента общей структуры диспозиций личности. Ю.М. Жуков определяет ценностные ориентации как «хорошо осознанные ценности». Поэтому понимание ценностей в психологии

тесно связано с проблемой аттитюда, причем иногда ценность понимается как «более широкий» аттитюд, а иногда как элемент аттитюда.

Таким образом, в психологической традиции при анализе ценностей высвечивается их значение для личности, прежде всего в качестве регулятора поведения и деятельности, основы для мотивации. Это, впрочем, не означает сведения всей проблематики ценностей только к ее психологическому аспекту.

Социальная природа ценностей очевидна, и поэтому в контексте социального познания ценности справедливо рассматриваются как один из элементов «социальной составляющей» этого процесса.

Некоторая неоднозначность в трактовке ценностей в психологии приводила к попыткам упорядочить эту проблематику. Самую существенную попытку предприняли Н. Рокич и С. Шварц. Ими предложена теория универсального содержания и структуры ценностей, где ценности трактуются как представления людей о целях, которые служат руководящими принципами в жизни. Такой постановкой вопроса ценности неизбежно связываются с проблемами социального познания: они есть некоторые представления, т.е. категории, при помощи которых человек обозначает те или иные явления мира.

От сложной системы факторов и условий зависит на разных возрастных этапах процесс формирования системы ценностных ориентаций. Поскольку этот процесс имеет двойственную природу - определятся особенностями индивида и характером окружающей его социальной среды - то фактов, влияющие на него так же будут подразделяться на внутренние и внешние.

На процесс принятия индивидом ценностей группы, в состав которой он входит, влияет целый ряд взаимосвязанных внутренних факторов. К ним относятся: самооценка, преобладание каких-либо черт характера, определяющие стратегию взаимодействия с социальной действительностью типы высшей нервной деятельности, проявление волевых черт и т.д.

В этом ряде факторов особое место занимает волевой элемент, т.к. процесс включения в личностную систему ценностных ориентаций предполагает присутствие волевых характеристик.

Одним из необходимых условий принятия высших моральных ценностей является достаточный уровень интеллектуального развития личности. Это объясняется простой закономерностью: от уровня интеллектуального развития зависит формирование понятийного аппарата, включающего в себя различные значения и критерии, в том числе и этические, которые в последствии формируют оценочную базу личности, которая в свою очередь формирует систему ценностных ориентаций.

Стандарты оценки прямо пропорциональны достигнутому уровню как эмоционального, так и интеллектуального развития индивида. Потому что интеллектуальные оценки, для лучшего усвоения и понимания социальных норм, должны быть подкреплены соответствующими эмоциональными оценками. Так же на процесс принятия индивидом ценностей группы оказывает влияние, по мнению М.С. Яницкого, уровень конформности. Он определяется комплексом как внутренне, так и внешне влияющих на личность факторов. Определяется этот уровень, по Г. Келмену, по преобладанию или подчинения, или идентификации, или интернализации.

Таким образом, уровень конформности - особенности ценностной системы через выбранный способ наполнения этой системы ценностями, значимыми для общества в целом. Одним из внешних факторов являются ценности, значимые для общества. Приобщаются эти ценности к системе индивидуальных ценностных ориентаций при помощи социальных институтов. К ним относят: семья, образовательные учреждения, СМИ и др.

Фундаментом формирования первичной системы ценностных ориентаций является семья. Сама, являясь внешним фактором формирования ценностных ориентаций, семья включает в себя ряд факторов, так же влияющих на формирование этой системы из вне. К ним относятся: структура семьи; социально-психологический климат среди ее членов; социальный статус, уровень образования и доходов родителей; социокультурные, религиозные и этнические корни семьи.

Образовательные учреждения занимают в процессе заложения ценностных ориентаций индивида место наряду с семьей. Младшие школьники, например, перенимают наряду с семейными ценностями, ценности учителей, подростки же, наоборот, не воспринимают ни ценности семьи, ни ценности учителей в этот возрастной период, а значимыми для них являются ценности, перенятые у сверстников. Сверстники являются так же важным фактором социализации, т.к. они выполняют специфические функции, такие как: осуществление совместной деятельности, эмоционального контакта и передачи информации.

По мнению многих ученых, процесс обучения в высшем учебном заведении предполагает формирования системы ценностных ориентаций как более узконаправленную,

т.е. включающую в себя ценности будущего специалиста [14-18]. В качестве окончательно закрепляющего внешнего фактора, влияющего на процесс формирования системы ценностных ориентаций, выделяют трудовой коллектив.

Наряду с факторами, влияющими на формирование положительных ценностей у личности, существуют факторы, обусловленные антисоциальной средой. В качестве таких факторов можно назвать делинквентные и преступные группы, а так же всевозможные группы, участники которых представляют примеры девиантного поведения.

По мере взросления и становления личности таким же важным фактором, как и вышеперечисленные является осознание личности частью большой устойчивой группы. К таким группам относятся этнос, класс, конфессия, общественно-политические движения. В последние десятилетия влияние социокультурной среды все больше проявляется в массовой культуре, пропагандируемой средствами массовой информации. Проблемой в последние годы является пассивное и некритичное принятие индивидами массовой культуры. По мнению Яницкого, СМИ не столько влияют на формирование, сколько закрепляют ценностные предпочтения, поскольку «неограниченный сегодня выбор канала получения, формы и содержания информации обусловлен уже имеющимися ценностями».

Заключение

Совокупность внутренних свойств личности и внешних условий социокультурной действительности определяют формирование целостной системы ценностных ориентаций. Таким образом, к факторам, влияющим на формирование такой системы относят: уровень развития когнитивной, эмоциональной и волевой сфер личности, особенности социальной среды, характер и форма психологического воздействия, специфику нарушения психической деятельности. Эти факторы имеют влияние не только на особенности ценностных ориентаций, но и на характер процессов их формирования.

Таким образом, формирование системы ценностных ориентаций личности является для различных исследователей предметом пристального внимания и разнопланового изучения. Исследование подобных вопросов особое значение приобретает в подростковом возрасте, поскольку именно с этим периодом онтогенеза связан тот уровень развития ценностных ориентаций, который обеспечивает их функционирование как особой системы, оказывающей определяющее воздействие на направленность личности, ее активную социальную позицию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макарова И.А., Осипов Ф.М. Формирование духовных и нравственных ценностей у молодежи. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2015. Т. 2. С. 275-277.

2. Осипов Ф.М. Психологический мониторинг формирования духовно-нравственных ценностей у студентов ВУЗа. Человеческий капитал. 2016. № 5(89). С. 55-57.

3. Прохоров, В. Ю. Менеджмент качества сервисных услуг. Техническое регулирование при оценке качества продукции и услуг сервисных предприятий : учеб. пособие. М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 87 с.

4. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. STORITELLING как современная стратегия преподавания. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 2. С. 149-151.

5. Токарева О.В., Червоноокая С.М. Влияние дистанционных методов обучения на качество подготовки специалистов. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2010. № 2. С. 90-94.

6. Мерлин В.С. Психология индивидуальности. М.: МОДЭК . МПСИ. 544 с.

7. Прохоров В.Ю. Итоговая государственная аттестация: учеб. пособие // В.Ю. Прохоров, В.В. Быков, И.Г. Голубев, М.И. Голубев. М.:ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2013. 211 с.

8. Токарева О.В., Червоноокая С.М. Творчество как один из способов воспитания графической культуры. Культура и безопасность. 2023. № 2. С. 33-34.

9. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Помощник в образовательном процессе среднего профессионального обучения. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т.1. С. 315-317.

10. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. Разработка основных направлений совершенствования стиля руководителя в ВУЗах, районных поликлиниках и стационарах. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 351-353.

11. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю., Фролов С.В. Факторы формирования позитивного имиджа руководителя. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 356-350.

12. Червоноокая С.М., Токарева О.В. Адаптация образовательного контента по дисциплине инженерная графика для иностранных слушателей (курсантов) в образовательных учреждениях пожарно-технического профиля. М. Академия ГПС МЧС России. Отчет о НИР. 2019. 78с.

13. Васильева Е.С., Осипов Ф.М. Содержание и структура ценностных ориентаций. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Т.2. С. 220-221.

14. Осипов Ф.М. Ценностные ориентации воспитательной системы ВУЗа. Человеческий капитал. 2013. № 2 (50). С. 38-40.

15. Власов Е.В., Осипов Ф.М. Ценностная ориентация личности. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Т. 2. С. 221.

16. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Воспитательная работа с молодежью в организациях среднего профессионального образования. Тренинг как метод активного обучения. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2021. Т. 1. С. 238-240.

17. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Современные технологии обучения. Метод Case Study в преподавании технических дисциплин. Труды международного симпозиума «Надежность и качество», г. Пенза (ПГУ). 2020. Т. 1. С. 212-214.

18. Осипов Ф.М. Понятие «ценности» и «ценностные ориентации» личности. В сборнике: Гуманитарные и общественные науки в XXI веке: проблемы и основные направления их решения. Материалы международной научно-практической конференции. Под редакцией профессора Е.В. Коневой. 2016. С. 42-48.

УДК 621.78

Даутбаев[1] Е.Ш., Ергалиев[2] Д.С.

[1,2] Академия гражданской авиации, Алма-Ата, Казахстан

[1] Yermek.dautbayev@caa.gov.kz

[2] d.yergaliyev@agakaz.kz

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИНСТРУКЦИИ ПО ПРОВЕРКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ГРАЖДАНСКОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА, ЗАРЕГИСТРИРОВАННОГО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ ГРАЖДАНСКИХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Аннотация. Данная статья представляет обзор технических инструкций по проверке эксплуатационной документации гражданского воздушного судна, зарегистрированного в Государственном реестре гражданских воздушных судов Республики Казахстан, при оказании государственной услуги «Выдача сертификата летной годности гражданского воздушного судна». В статье рассматривается разработка и внедрение технических инструкций для авиационных инспекторов летной годности уполномоченной организации в сфере гражданской авиации Республики Казахстан с целью последующего внесения изменений и дополнений в инструктивные материалы, включающие описание процессов и процедур.

В статье предложены инструкции для детализированной проверки эксплуатационной документации гражданского воздушного судна.

Эти инструкции помогут в работе авиационным инспекторам летной годности уполномоченной организации в сфере гражданской авиации Республики Казахстан при выполнении своих должностных обязанностей для единообразного применения законодательства Республики Казахстан об использовании воздушного пространства Республики Казахстан и деятельности авиации, стандартов и рекомендуемой практики при проведении сертификационного обследования, осуществлении контроля и надзора.

Ключевые слова: технические инструкции, инструктивный материал, авиационный инспектор, уполномоченная организация в сфере гражданской авиации Республики Казахстан, сертификационное обследование, эксплуатационная документация

Dautbayev[1] E.Sh., Yergaliyev[2] D.S.

[1,2] Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

[1] Yermek.dautbayev@caa.gov.kz

[2] d.yergaliyev@agakaz.kz

TECHNICAL INSTRUCTIONS FOR CHECKING THE OPERATIONAL DOCUMENTATION OF A CIVIL AIRCRAFT REGISTERED IN THE STATE REGISTER OF CIVIL AIRCRAFT OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Annotation. This article provides an overview of the technical instructions for checking the operational documentation of a civil aircraft registered in the State Register of Civil Aircraft of the Republic of Kazakhstan, when providing the state service "Issuance of a certificate of airworthiness of a civil aircraft". The article discusses the development and implementation of technical instructions for aviation airworthiness inspectors of the authorized organization in the field of civil aviation of the Republic of Kazakhstan for subsequent amendments and additions to the guidance materials, including a description of processes and procedures.

The article offers instructions for a detailed inspection of the emergency equipment of a civil aircraft.

These instructions will help aviation airworthiness inspectors of the authorized organization in the field of civil aviation of the Republic of Kazakhstan in the performance of their official duties for the uniform application of the legislation of the Republic of Kazakhstan on the use of the airspace of the Republic of Kazakhstan and aviation activities, ICAO standards and recommended practices during certification survey, control and supervision.

Keywords: technical instructions, guidance materials, aviation inspector, authorized organization in the field of civil aviation of the Republic of Kazakhstan, certification survey, operational documentation

Введение. В соответствии с Программой Президента Республики Казахстан от 20 мая 2015 года «План нации - 100 конкретных шагов» для поэтапной реализации 5 институциональных реформ, 68 шагом 3 институциональной реформы «Индустриализация и экономический рост» было определено:

- улучшение эффективности государственного регулирования авиаперевозок для повышения привлекательности авиатранзита через Казахстан. Деятельность Комитета гражданской авиации будет ориентирована на модели Британского государственного агентства гражданской авиации и EASA.

Для реализации 68 шага, 01.08.2019 г. была создана уполномоченная организация в сфере гражданской авиации Республики Казахстан – АО «Авиационная администрация Казахстана» (Акционерное общество со стопроцентным участием государства в уставном капитале, осуществляющее деятельность, направленную на обеспечение устойчивого развития отрасли гражданской авиации Республики Казахстан, безопасности полетов и авиационной безопасности). Часть функций уполномоченного органа в сфере гражданской авиации Республики Казахстан - государственного учреждения «Комитет гражданской авиации Министерства транспорта Республики Казахстан» (Центральный исполнительный орган, осуществляющий руководство в области использования воздушного пространства Республики Казахстан и деятельности гражданской и экспериментальной авиации) были делегированы в уполномоченную организацию в сфере гражданской авиации Республики Казахстан. В связи с делегированием функций, были внесены соответствующие изменения и дополнения в нормативные правовые акты в сфере гражданской авиации Республики Казахстана в части компетенции уполномоченного органа и уполномоченной организации в сфере гражданской авиации Республики Казахстан.

С момента создания уполномоченной организации в сфере гражданской авиации Республики Казахстан ведется постоянная работа по усовершенствованию процессов и процедур перехода на европейскую модель регулирования безопасности полетов, по привлечению и обмену опытом с иностранными специалистами, налажено тесное сотрудничество с EASA.

Департамент летной годности является структурным подразделением уполномоченной организации в сфере гражданской авиации Республики Казахстан.

Одной из государственных услуг, оказываемой Департаментом летной годности уполномоченной организации в сфере гражданской авиации Республики Казахстан, является «Выдача сертификата летной годности гражданского воздушного судна». Срок оказания данной государственной услуги составляет 20 рабочих дней.

Выдача сертификата летной годности производится в соответствии с требованиями Правил сертификации и выдачи сертификата летной годности гражданского воздушного судна Республики Казахстан, утвержденными Приказом и.о. Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 24 февраля 2015 года № 198.

Сертификационное обследование для оказания государственной услуги «Выдача сертификата летной годности гражданского воздушного судна» возлагается на авиационного инспектора, уполномоченного на осуществление сертификации, контроля и надзора в сфере гражданской и экспериментальной авиации и имеющего специальную и (или) профессиональную подготовку в части выполнения и обеспечения технического обслуживания гражданских воздушных судов.

Выдаваемый сертификат летной годности гражданского воздушного судна, является документом, удостоверяющим, что конкретное гражданское воздушное судно соответствует действующим в Республике Казахстан нормам летной годности. Срок действия сертификата летной годности гражданского воздушного судна с момента его выдачи – один год (для гражданских воздушных судов максимальная взлетная масса которых более 5700 кг).

Летная эксплуатация гражданского воздушного судна без действующего сертификата летной годности запрещена, за исключением полётов, связанных:

- с лётными испытаниями на годность гражданского воздушного судна к полётам или;
- с сертификацией типа гражданского воздушного судна или;
- разрешения на выполнение специального полета (специальный сертификат летной годности).

Так же, эксплуатанту гражданского воздушного судна запрещается выполнение полетов в случаях, если:

- не выполнен предполетный осмотр (подготовка) гражданского воздушного судна в соответствии с правилами производства полетов в гражданской авиации Республики Казахстан;
- неисправно аварийно-спасательное оборудование;
- не выполняется техническое обслуживание и ремонт гражданского воздушного судна в соответствии с программой по его техническому обслуживанию;
- не устранены неисправности и повреждения, влияющие на безопасную эксплуатацию, с учетом минимального перечня оборудования и перечня отклонений конфигурации, утвержденных уполномоченной организацией в сфере гражданской авиации Республики Казахстан;
- гражданское воздушное судно допущено к эксплуатации с нарушением требований по техническому обслуживанию и ремонту авиационной техники;
- не выполняется ежегодная оценка эффективности утвержденной программы технического обслуживания и программы надежности;
- не выполнена в срок директива по летной годности в отношении воздушного судна, его деталей и компонентов, включая уведомление уполномоченной организации в сфере гражданской авиации Республики Казахстан, касающееся безопасности полетов;
- данные по массе и центровке гражданского воздушного судна не соответствуют текущей его конфигурации.

Сертификационное обследование летной годности гражданского воздушного судна осуществляется с использованием инструктивного материала (в соответствии с Программой сертификационного обследования лётной годности воздушного судна), разработанной уполномоченной организацией в сфере гражданской авиации Республики Казахстан для авиационных инспекторов.

Сертификационное обследование летной годности гражданского воздушного судна состоит из двух частей:

- работы по проверке эксплуатационной документации гражданского воздушного судна;
- работы по физическому осмотру гражданского воздушного судна.

При проверке эксплуатационной документации гражданского воздушного судна авиационный инспектор запрашивает уполномоченное лицо заявителя предоставить актуализированные электронные копии документов включая, но не ограничиваясь перечисленным:

- статус директив лётной годности;
- статус сервисных бюллетеней;
- список допустимых вмятин и повреждений (Карта повреждений);
- отчёт о массе и центровке;
- схема размещения пассажиров (LOPA – Layout of Passenger Accommodations);
- список аварийно-спасательного оборудования;
- статус ремонтов и модификаций;
- статус компонентов с ограниченным ресурсом (сроком службы);
- формуляр планера;
- формуляры двигателей и крайние сертификаты допуска к эксплуатации;
- формуляр вспомогательной силовой установки и крайний сертификат допуска к эксплуатации;
- формуляры воздушных винтов;

- формуляры главного, хвостового (рулевого) и промежуточного редукторов;
- паспорта лопастей несущего винта;
- паспорта основных и носовых стоек шасси;
- информация по регистратору полётных данных и бортовому речевому самописцу (паспорта, рабочие карты);
- информация по аварийному радиомаяку (сертификат);
- крайние данные по периодическому и оперативному техническому обслуживанию, включая сертификат допуска к эксплуатации;
- статус технического обслуживания (крайнее / следующее выполнение);
- страницы технического бортового журнала за предыдущие месяцы;
- отложенные дефекты и отклонения от работ по техническому обслуживанию.

Копии вышеуказанных документов должны быть предоставлены в формате переносимых документов (PDF). Авиационный инспектор должен загрузить все документы, полученные во время сертификационного обследования летной годности гражданского воздушного судна, в электронную базу данных Департамента летной годности. Электронная база данных является инструментом-помощником для авиационных инспекторов для сбора, оценки, обработки, анализа и хранения данных, полученных по результатам сертификационного обследования, осуществлении контроля и надзора.

Важно! При проверке эксплуатационной документации, а именно агрегатов, комплектующих изделий и запасных частей к ним, обязательно выполнить выборочную сверку срока службы (периодических проверок) данных агрегатов (компонентов) между базой данных эксплуатанта и идентифицирующими документами (формуляры, паспорта, этикетки, сертификаты допуска к эксплуатации компонента, аутентичные дубликаты), выданные производителем или сертифицированной организацией по техническому обслуживанию и ремонту авиационной техники на корректность введенных данных по сроку службы (периодическим проверкам).

Пример 1. Обращать внимание на дату идентифицирующих документов агрегатов, комплектующих изделий и запасных частей к ним в зависимости от выданной страны-производителя или сертифицированной организацией по техническому обслуживанию и ремонту авиационной техники. Чтобы правильно прочитать дату, прежде всего надо определить, в какой традиции она была написана – европеейской (британской) или американской. Дата 04.02.2024 для европейцев (британцев) будет означать – 4 февраля 2024 года (дд.мм.гггг.), а для американцев – 2 апреля 2024 года (мм.дд.гггг.).

Пример 2. Обращать внимание на дату идентифицирующих документов агрегатов, комплектующих изделий и запасных частей к ним в зависимости от срока службы (периодической проверки) каждого элемента комплектующих изделий и запасных частей к ним в наборе. В случае если агрегат, комплектующие изделия и запасные части в наборе имеют индивидуальный срок службы (периодическую проверку), то срок службы (периодическая проверка) будет исчисляться по дате элемента с наиболее ранней датой срока службы (периодической проверки). В наборе имеются 3 элемента с различными сроками службами: элемент 1 – до 30.03.2024 г., элемент 2 – до 05.12.2025 г., элемент 3 – до 08.10.2024 г. Срок службы (периодической проверки) будет исчисляться по элементу 1.

Заключение. Разработка и внедрение технических инструкций для авиационных инспекторов летной годности уполномоченной организации в сфере гражданской авиации Республики Казахстан для последующего внесения изменений и дополнений в инструктивные материалы, включающие описание процессов и процедур, помогут в работе авиационным инспекторам летной годности уполномоченной организации в сфере гражданской авиации Республики Казахстан при выполнении своих должностных обязанностей для единообразного применения законодательства Республики Казахстан об использовании воздушного пространства Республики Казахстан и деятельности авиации, стандартов и рекомендуемой практики ИКАО при проведении сертификационного обследования, осуществлении контроля и надзора, а также будут способствовать:
- повышению уровня безопасности полетов, что имеет огромное практическое значение для минимизации рисков авиационных происшествий и инцидентов.
- повышению профессионализма авиационных инспекторов летной годности, что важно для эффективного и последовательного сертификационного обследования, осуществлении контроля и надзора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лётная годность воздушных судов. ИКАО. Приложение 8 к Конвенции о международной гражданской авиации. Тринадцатое издание, июль 2022 года.
2. Руководство по лётной годности. ИКАО. Doc 9760. Издание четвертое, 2020 года.
3. Закон Республики Казахстан от 15 июля 2010 года № 339-IV «Об использовании воздушного пространства Республики Казахстан и деятельности авиации», включающий изменения № 60 от 01.01.2024 г.
4. Приказ и.о. Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 24 февраля 2015 года № 198 «Об утверждении Правил сертификации и выдачи сертификата летной годности гражданского воздушного судна Республики Казахстан», включающий изменения № 12 от 25.03.2024 г.
5. Приказ и.о. Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 27 марта 2015 года № 367 «Об утверждении норм летной годности гражданских воздушных судов Республики Казахстан», включающий изменения № 4 от 09.01.2024 г.
6. Коптев А.Н., Ергалиев Д.С., Саханов К.Ж. Интеллектуальные системы оценки состояния бортовых комплексов оборудования. Надежность и качество-2008: Международный симпозиум. Пенза, - 2008. том 1- С.444-446.
7. Смагулова А., Ергалиев Д.С., Тулегулов А.Д. Эволюция формальной технологии. Надежность и качество-2012: Международный симпозиум. - Пенза, 2012., том 1. - С.68-70.

УДК 159.9.37.1

Осипов Ф.М.
Академия дополнительного образования, Москва, Россия
ted.75@inbox.ru

ДУХОВНО-НРАВСТВЕННЫЕ ЦЕННОСТИ В СИСТЕМЕ СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНОГО ЗНАНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы присущих человеку ценностей, мнения в отношении природы ценностей, а также в отношении условий и закономерностей их формирования. Даётся определение трех категорий ценностей современной аксиологии. Признается важность наполнения ценностным содержанием процесса получения профессионального образования. В психологической науке рассматриваются понятия «ценность» и «ценностные ориентации». Анализируются подходы к классификации ценностей в современной психологии.

Ключевые слова: ценности, ценностные ориентации, индивид, типы систем ценностей, свойства личности, социальные ценности, внутренние и внешние факторы, духовно-нравственные ценности

Osipov F.M.
Academy of Additional Education, Moscow, Russia
ted.75@inbox.ru

SPIRITUAL AND MORAL VALUES IN THE SYSTEM OF SOCIAL AND HUMANITIES KNOWLEDGE

Annotation. The article discusses issues of inherent human values, opinions regarding the nature of values, as well as regarding the conditions and patterns of their formation. A definition of three categories of values of modern axiology is given. The importance of filling the process of obtaining professional education with value content is recognized. In psychological science, the concepts of “value” and “value orientations” are considered. Approaches to the classification of values in modern psychology are analyzed.

Keywords: values, value orientations, individual, types of value systems, personality traits, social values, internal and external factors, spiritual and moral values

Введение

Следует отметить, что ценностная проблематика имеет философскую основу. Вопросы присущих человеку ценностей составляли часть размышлений Аристотеля, Платона, интересовали философов-стоиков Гераклита, Демокрита, Эпикура. Еще со времен античности духовно-нравственные ценности являлись предметом изучения этики – важнейшего раздела философской науки. Большой вклад в развитие этики внес известный древнегреческий философ Аристотель. В своем произведении «Никомахова этика» он рассматривает категории блага, добродетели и счастья. Добродетели, с точки зрения философа, следует разделять на мыслительные (мудрость, рассудительность, сообразительность) и нравственные (щедрость, благоразумие) [1]. При этом мыслительные добродетели формируются путем обучения, а нравственные – путем воспитания. Стоики, в свою очередь, были склонны считать, что ценность – это естественное образование, содержащее морально-нравственный стержень личности, который обеспечивает ей гармоничное взаимодействие с окружающим миром. Таким образом, уже на заре становления философского представления о человеке, можно обнаружить противоречивые мнения в отношении природы ценностей, а также в отношении условий и закономерностей их формирования.

На более поздних этапах развития философского учения дискуссия по поводу природы ценностей также находит почву для существования. К примеру, авторы теории общественного договора Дж. Локк, П. Гольбах, Ж.Ж. Руссо и другие, придерживались точки зрения, что ценностная основа является одним из продуктов социализации человека, которой предшествует стремление к неограниченной свободе и защите лишь собственных интересов. Схожей позиции придерживался и И. Кант, с уверенностью отрицающий присутствие начала подлинной нравственности в структуре личности. Согласно позиции И. Канта, ценность является продуктом разума, а вовсе не духовного мира личности. Однако представители экзистенциально-ориентированных подходов к изучению личности, напротив, склонялись к убеждению, что самой главной ценностью является подлинное существование, изначально данное человеку природой. Как отмечал отечественный мыслитель Н.А. Бердяев, личность принадлежит миру духовному. «…Внутренний потенциал человека «микрокосм» содержит в себе всю вселенную, всю мировую историю». Столь мощный ресурс, представляющий человеческую душу, просто не может не содержать в себе ценностного ядра. Различные взгляды философов на проблему ценностей, приводили к многообразию подходов к их формированию и поддержанию [2].

В конце XIX – начале XX века теоретические знания ученых о ценностях оформляются в самостоятельный раздел философии, называемый аксиологией. На ранних стадиях своего развития аксиологическое учение было представлено тремя группами теоретических концепций: объективно-идеалистической, субъективно-идеалистической и натуралистической. В системе объективно-идеалистических представлений ценности составляют изолированную сущность, лежащую за пределами пространства и времени. В эту категорию входит неотомизм, интуитивизм и другие концепции. Объективно-идеалистического понимания ценностей придерживались М. Шелер, Н. Гартман, а также сторонники неоактианского подхода к исследованию ценностей. Субъективно-идеалистические теории утверждают, что ценности являются предметом человеческого сознания и в значительной степени опосредованы психологическими особенностями конкретного индивида. Данная группа теорий представлена идеями логического позитивизма, лингвистического анализа в этике, аффективно-волевой теорией ценностей. Среди ее сторонников можно выделить У. Эрбана, К. Люиса и др. Натуралистические теории трактуют ценности как выражение естественных потребностей человека или природы в целом. К ним,

прежде всего, относится теория интереса, эволюционная этика, этика космической телеологии.

Современная аксиология выделяет три категории ценностей. Рассмотрим их несколько подробнее:

1. Ценность, как абстрактное понятие, возносящее некий идеал. К этой категории ценностей принято относить общечеловеческие (истина, красота, справедливость) и исторические ценности (патриархат, равенство, демократия).

2. Ценность, отраженная в виде материального продукта или духовного носителя. Эту группу ценностей составляют достояния культуры и искусства, заданные религиозные ориентиры и другие регламентированные ценности;

3. Социальные ценности, дающие возможность человеку формировать собственные стереотипы взаимодействия с окружающим миром. Социальные ценности всегда преломляются через призму индивидуального жизненного опыта.

При внимательном анализе рассмотренных категорий ценностей можно обнаружить существование двух групп, одну из которых составляют внешние (регламентированные) ценности, а другую – «внутренние» ценности, как раз те, которые опосредуются жизненным опытом человека. При этом «внешние» ценности не подлежат формированию в психологическом плане, поскольку существуют независимо от состояния внутреннего мира. «Внутренние» ценности же, напротив, являются полем деятельности психологической науки, так как в процессе грамотного взаимодействия с личностью, способны актуализироваться и развиваться [3, 4].

Философские взгляды на формирование духовно-нравственных ценностей нашли отражения в системе формирования педагогического знания. Поскольку традиционно педагогический процесс принято рассматривать как целенаправленное воздействие на личность, можно сделать вывод о том, что грамотно организованное образовательное пространство оказывает существенное влияние на формирование ценностной системы обучающихся [5-8].

В течение последних лет признается важность наполнения ценностным содержанием процесса получения профессионального образования. В соответствии с данным убеждением, формирование духовных ценностей студентов должно происходить не в изолированной от педагогического пространства среде, а в контексте профессионального становления личности. При этом педагогическое воздействие, направленное на формирование духовной сферы студентов, рассматривается как базисная составляющая формирования будущего высококвалифицированного специалиста [9].

В психологической науке понятие «ценность» появилось относительно недавно [10]. В австрийской психологической школе, представителями которой являются А. Мейнонг, Х. Эренфельс, И. Крейбиг, ценности рассматриваются исключительно как субъективный феномен. При этом носитель ценности наделяется способностью вызывать у субъекта определенную гамму чувств, в зависимости от которой ему отводится место в индивидуальной иерархии ценностей. Сторонники бихевиоризма, напротив, исключали чувственную составляющую ценностей и трактовали морально-этические установки как результат ассоциативного научения. Классический психоанализ не предполагал углубленного изучения ценностной проблематики, однако в концепции З. Фрейда все же упоминается о морально-нравственной регуляции поведения человека. В качестве субстрата, фильтрующего нравственные и аморальные поступки, З. Фрейд рассматривал Супер-Эго. В своих работах основоположник психоанализа выделяет три основные функции Супер-Эго: совесть, самонаблюдение и формирование идеалов. Первостепенной задачей совести, по З. Фрейду, является ограничение возможных стереотипов поведения и деятельности субъекта. Самонаблюдение направлено на оценку выбранной модели поведения в независимости от сиюминутных побуждений и потребностей. Формирование идеалов осуществляется на всех этапах онтогенеза и во многом перекликается с развитием самого Супер-Эго, которое «становится носителем традиций, передающихся от поколения к поколению».

В отечественной психологии вопросы, связанные с формированием и смысловым содержанием ценностей, отражены в работах Д.А. Леонтьева, Б.Г. Ананьева, В.Н. Мясищева, Ф. Е. Василюка и др. Р.С. Немов определяет ценность как абстрактный принцип, определяющий модель поведения человека. Данный принцип формируется и закрепляется в процессе социализации. Такое определение дает основание рассматривать «ценность» в качестве связующего звена личности и социума. По мнению Б.Г. Ананьева, ценности являются базальными структурами личности, которые оказывают непосредственное влияние на мотивы поведения, склонности и характер. Ценностное ядро обуславливает такие качества личности, как надежность, верность принципам и идеалам, активность жизненной позиции и многие другие. Непоследовательность поведения, господство внешних ориентиров над внутренними, как правило, является следствием недостаточной устойчивости ценностной структуры личности.

Параллельно с понятием ценности в психологической науке рассматривается такое понятие, как ценностные ориентации. Впервые оно упоминается в работах У. Томаса и Ф. Занецкого. В отличие от непосредственного определения понятия ценность, которое в сознании большинства исследователей рассматривается как предмет, ценностные ориентации характеризуют установку личности на тот или иной ценностный носитель. М. Рокич определяет ценностные ориентации как абстрактные идеи, отражающие степень субъективной значимости достигаемых человеком целей. Другими словами, это устойчивое убеждение в том, что существует какая-то цель, оправдывающая материальные, эмоциональные и душевные затраты в течение длительного периода жизни. По мнению, А.Г. Здравомыслова формирование ценностных ориентаций есть не что иное, как процесс становления и развития личности. Данный процесс включает в себя как усвоение индивидом существующих установок, так и качественное изменение ценностных ориентиров, усвоенных ранее. Трансформация системы ценностей, с точки зрения ряда исследователей, является важнейшим индикатором личностного роста.

В качестве ведущих функций ценностных ориентаций принято рассматривать экспрессивную, адаптивную, защитную и познавательную функции. Посредством экспрессивной функции личность обретает способность к самовыражению. Адаптивная функция ценностных ориентаций позволяет человеку удовлетворять различные потребности. Защитная функция, как правило, активизируется в случае столкновения противоположных мотивов и дает возможность принять решение, соответствующее внутренним установкам. В свою очередь, познавательная функция обеспечивает поиск информации, необходимой для поддержания психологического равновесия и целостности личности.

С нашей точки зрения важно разделять понятия ценностные ориентации и ориентация личности на ценность. Последнее характеризует индивидуальное отношение человека к существующим нормам поведения, традициям и другим социальным факторам. Другими словами, это совокупность мнений и взглядов, формирующихся с учетом половозрастных и психосоциальных особенностей личности.

Отличительным признаком психологического понимания проблемы ценностей и ценностных ориентаций является признание значимости субъект-субъектного аспекта ценностей. Данный факт отчетливо прослеживается в работах В.Н. Мясищева, Д.А. Леонтьева, Т.В. Корниловой и других авторов. С точки зрения Д.А. Леонтьева субъективные ценности формируются посредством связи содержательной стороны ценностей с эмоционально-мотивационной сферой личности. При этом связь системы ценностей с мотивационной сферой настолько крепка, что на определенном этапе стираются различия между ценностью и мотивом. И те, и другие в равной степени опосредуют поведение и деятельность человека. Ф.Е. Василюк отмечает, что ведущая роль ценности заключается в наделении мотива эмоциональной окраской. В соответствии с эмоциональным состоянием, человек способен находить мотив, лежащий в рамках его ценностных установок, а, следовательно, регулировать существующие модели поведения. Так, например, отрицательные эмоции, возникшие в ходе реализации той или иной программы действий, могут привести к кардинальному изменению решения. Таким образом, ценности позволяют осуществлять выбор между противоборствующими мотивами, и тем самым обеспечивают экзистенциальную свободу человека. Согласно мнению Т.В. Корниловой и Г.Л. Будинайте, высшей ступенью формирования ценностных ориентаций является преобразование субъективных ценностей в личностные ценности. Личностные ценности, утверждают авторы, это те ценности, «в отношении которых субъект самоопределился». Роль личностных ценностей чрезвычайно важна в процессе интерпретации моральных решений. Актуализация личностных ценностей предполагает высокую степень ответственности не только в пространстве внешних альтернатив, но и в отношении достигнутого потенциала регуляции. Появление и последующая динамика личностных ценностей возможна только при условии раскрытия их роли в самосознании субъекта, стремящемся активно исследовать свой внутренний мир.

В современной психологической науке существует насколько подходов к классификации ценностей. В контексте изучения различных составляющих ценностных ориентаций личности С.С. Бубнова выделяет три иерархических уровня ценностей:

1. Абстрактные ценности. Данное понятие представлено духовными, социальными и материальными ценностями. Необходимо отметить, что духовные ценности, в свою очередь, познавательные, эстетические и гуманитарные.

2. Ценности, как свойства личности. Данную категорию ценностей наполняют такие, качества личности, как общительность, любознательность, активность, доброжелательность и другие. С помощью этих качеств процесс человеческого общения обретает статус ценности.

3. Способы поведения личности. В контексте этого уровня ценностей можно выделить различные поведенческие стереотипы, позволяющие человеку успешно адаптироваться и конструктивно функционировать в социальной жизни. Сюда, прежде всего, входят такие понятия, как пунктуальность, ответственность, чувство долга, комформизм и пр.

Шварц и Блиски предлагают классифицировать ценности в зависимости от направленности потребностей, за удовлетворение которых они отвечают. В соответствии с этой позицией ценности можно разделить на две группы: терминальные и инструментальные. К терминальным следует относить те ценности, которые удовлетворяют потребности индивидов, как биологических организмов. Эту группу, по мнению авторов, представляют гедонистические ценности, а также ценности власти и достижения. Основной функцией инструментальных ценностей является координация социальных взаимоотношений. Они представлены, такими ценностями, как благосклонность, традиции, комфортность и др.

Б.Г. Ерасов, описывает несколько категорий ценностей, которые с нашей точки зрения, представляются наиболее актуальными в пространстве современной науки и социальной жизни. Среди них, на наш взгляд, важно выделить:

- витальные ценности: (жизнь, здоровье, выносливость, благосостояние, комфорт и др.);
- социальные ценности: (социальное положение, статус, богатство, труд, профессиональная самореализация, материальная и эмоциональная независимость личности и пр.);
- политические ценности (свобода слова, государство, закон, общественный порядок и др.);
- моральные ценности (добро, зло, преданность, верность, любовь);
- религиозные ценности (вера, благодать, Божье слово, святость и др.);
- эстетические ценности (красота, идеал, стиль, гармония и пр.).

Анализируя рассмотренную классификацию, можно отметить, что схожие ценности могут быть представлены в различных категориях. Так, например, материальное благополучие выступает, как витальной, так и социальной ценностью. Кроме того, возможно пересечение моральных и религиозных ценностей. Кроме того, классификация Б.Г. Ерасова позволяет провести некоторую параллель с известной пирамидой

потребностей А. Маслоу. С нашей точки зрения, можно с определенной уверенностью утверждать, что в случае неполноценной актуализации витальных ценностей, едва ли активизируются морально-нравственные и эстетические ценности. Чрезмерная внешняя направленность ценностных ориентаций в сочетании с недостаточностью внутренних, может выступать одной из причин, таких деструктивных явлений психической жизни, как зависимость и созависимость. Таким образом, своевременное формирование гармоничной системы ценностных ориентаций, является важнейшим средством профилактики личностных и социальных дезадаптаций.

В процессе анализа места и роли ценностей в системе философского и психологического знания, мы пришли к выводу, что духовно-нравственные ценности формируются на основе уже сложившегося ценностного самосознания, поведения и мировоззрения. В то же время духовно-нравственные ценности опосредуют все другие категории ценностей: витальные, социальные, политические и пр. Человек, обладающий высокой степенью сформированности духовно-нравственных ценностей, несомненно, находится на высоком уровне личностного развития.

С точки зрения И. Гликмана, ценностное мировоззрение личности формируется в процессе осуществления социально-значимой деятельности. Такие понятия, как честность, справедливость, чувство долга важно рассматривать в системе каждодневной деятельности, которая служит почвой для закрепления этих ценностей в сознании человека посредством столкновения с непосредственными переживаниями. В связи с этим в процессе организации педагогических и психологических мероприятий, формирование нравственно-духовных ценностей младших поколений должно осуществляться не столько через поучающее слово, сколько через трансляцию социального опыта, богатого духовно-нравственными отношениями. Понятие духовно-нравственные ценности, по сути, является синонимом понятия моральные ценности [11]. Еще раз отметим, в центре внимания данной категории ценностей находятся такие ценности, как добро, истина, красота, долг, совесть и пр. Важно отметить, что эти и другие духовно-нравственные ценности взаимосвязаны и реализация одной из них детерминирует актуализацию остальных. К примеру, истина напрямую связана с добром, а красота – с добром и истиной. При этом истина представляет собой определенное знание, адекватно отражающее сущность того или иного предмета, в то время, как добро относится к категории нравственных ценностей, представляющих своих носителей, прежде всего, познающими, мыслящими и чувствующими людьми. Таким образом, добро неотделимо от истины, так как в значительной степени базируется на ней. Красота, отделенная от добра, может обретать деструктивный характер и приводить к негативным социальным последствиям. Однако З.А. Хубиева предлагает помнить, что при всех преимуществах такого соотнесения ценностей следует помнить, что в реальной жизни взаимосвязи между ценностями могут быть несколько шире и разнообразнее.

Отличительным признаком духовно-нравственных ценностей является их способность выходить за пределы человеческого «Я». Нельзя подвергнуть сомнению тот факт, что красота, истина или справедливость недоступны нашему организму, они лежат за пределами кожи, не регистрируются органами чувств. Стремление человека к такого рода ценностям едва ли можно назвать проявлениями эгоизма. Чувство удовлетворения, которое испытывает субъект, к примеру, при достижении справедливости не локализуется в конкретных участках тела, как чувство удовлетворения, возникающее в процессе утоления голода. Насыщение духовно-нравственными ценностями распространяется не только в пространстве организма, оно активно стремится во внешнюю среду, заполняя собою все вокруг. В связи с этим А. Маслоу предполагает, что данная категория ценностей может являться предметом изучения трансгуманистической психологии.

Духовно-нравственная сущность человека находит проявление в эмоционально-аффективной сфере личности. С точки зрения А.А. Андрушкевич духовность является непосредственным источником психической активности человека, условием его внутреннего роста, а также физического и психологического здоровья в целом. В психологическом плане духовно-нравственная сфера личности предполагает сочетание следующих составляющих:

- совесть (нравственная инстанция, определяющая правомерность поведения, намерений и поступков человека);
- самооценка (играет весомую роль в ходе изменения направленности личности);
- воля (чувственная производная, контролирующая этапы превращения потребности в фактический результат совершенного действия).

Согласно мнению А.Я. Канапацкого, духовные компоненты личности имеют тонкую взаимосвязь, как с сознательной, так и с бессознательной сферой. Таким связующим звеном, с точки зрения исследователя, является совесть, так как ее

фундаментальная основа находится в пространстве бессознательного, а внешние проявления относятся к производным сознания.

Духовно-нравственное развитие личности невозможно в отрыве от такого важного мотивационного компонента, как вера в Бога. В связи с этим духовно-нравственные ценности, так или иначе, являются предметом изучения христианской психологии. Христианская психология, несомненно, затрагивающая проблему духовно-нравственных ценностей, активно транслирует концепцию, согласно которой целостность человека представлена тесной взаимосвязью трех структур – тела, души и духа. При этом каждая вышестоящая структура координирует функционирование нижестоящей. Основная цель земного существования, с точки зрения православного учения и соответствующих разделов психологии, заключается в непрерывном духовном совершенствовании человека и соединении его с Богом. Основные психологические и соматические проблемы современного человека православно-ориентированные психологи видят в его чрезмерной ориентации на преходящие ценности, которые оставляют дух в дремлющем состоянии и, соответственно, препятствуют контакту с Творцом. Грамотное и последовательное формирование духовно-нравственного стержня личности на каждом этапе онтогенеза позволяет предупредить многие душевные и психоэмоциональные расстройства.

Заключение

Проанализировав взгляды представителей различных концепций на предмет духовно-нравственных ценностей, мы обнаружили некоторые противоречия. С одной стороны положительная динамика развития духовно-нравственных ценностей невозможна без полноценной актуализации витальных, более «примитивных» ценностей, а с другой – повышенная ориентация на гедонизм препятствует формированию внутренней свободы, что также приводит к нежелательным последствиям. Уравновесить данное противоречие, с нашей точки зрения призвана концепция гештальтпсихологии, согласно которой неудовлетворенная потребность блокирует физические и психологические ресурсы человека, которые при благоприятном стечении обстоятельств могли бы быть направлены на образование, самосовершенствование и достижение общественно значимых целей. Однако при недостаточном осознании своей истинной, как правило, неудовлетворенной потребности, деструктивное поведение человека приобретает компенсаторный характер. Например, злоупотребление человека едой или спиртными напитками может быть одним из способов нейтрализации чувства одиночества или, устранения экзистенциального страха смерти. Осознание своих потребностей представляет большие возможности для поиска достойных альтернатив их удовлетворения, лежащих в пределах духовно-нравственных ценностей. На основании этого положения можно предположить, что грамотно организованная работа с мотивационно-потребностной сферой человека служит пусковым механизмом для его духовного совершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев П.В., Панин А.В. Философия. Учебн. пособие. М.: ТК Велби, изд-во «Проспект». 2019. 608 с.

2. Осипов Ф.М. Формирование профессионально значимых смысложизненных ориентаций будущих психологов. Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата психологических наук / Нижегор. гос. архитектур.- строит. ун-т. Нижний Новгород. 2015.

3.Васильева Е.С., Осипов Ф.М. Содержание и структура ценностных ориентаций. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Т.2. С. 220-221.

4. Власов Е.В., Осипов Ф.М. Ценностная ориентация личности. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Т. 2. С. 221.

5. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Воспитательная работа с молодежью в организациях среднего профессионального образования. Тренинг как метод активного обучения. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2021. Т. 1. С. 238-240.

6. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Современные технологии обучения. Метод Case Study в преподавании технических дисциплин. Труды международного симпозиума «Надежность и качество», г. Пенза (ПГУ). 2020. Т. 1. С. 212-214.

7. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. Разработка основных направлений совершенствования стиля руководителя в ВУЗах, районных поликлиниках и стационарах. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 351-353.

8. Макарова И.А., Осипов Ф.М. Формирование духовных и нравственных ценностей у молодежи. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2015. Т. 2. С. 275-277.

9. Осипов Ф.М. Ценностные ориентации воспитательной системы ВУЗа. Человеческий капитал. 2013. № 2 (50). С. 38-40.

10. Осипов Ф.М. Понятие «ценности» и «ценностные ориентации» личности. В сборнике: Гуманитарные и общественные науки в XXI веке: проблемы и основные направления их решения. Материалы Международной научно-практической конференции. Под редакцией профессора Е.В. Коневой. 2016.С. 42-48.

11. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю., Фролов С.В. Факторы формирования позитивного имиджа руководителя. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 356-350.

УДК 159.9.37.04.

Осипов Ф.М.
Академия дополнительного образования, Москва, Россия
ted.75@inbox.ru

ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОФИЛАКТИКА СТРЕССА В ОРГАНИЗАЦИИ И ИНДИВИДУАЛЬНАЯ

Аннотация. В статье представлены методы профилактики преодоления стресса как на уровне организации, так и на уровне отдельного индивида.
Ключевые слова: стрессорная реакция, стрессогенное воздействие, пути преодоления стресса, организация, индивид, психологическая профилактика, синдром эмоционального выгорания, технологии

Osipov F.M.
Academy of Additional Education, Moscow, Russia
ted.75@inbox.ru

PSYCHOLOGICAL PREVENTION OF STRESS IN THE ORGANIZATION AND INDIVIDUAL

Annotation. The article presents methods of prevention for overcoming stress both at the organizational level and at the individual level.
Keywords: stress response, stress impact, ways to overcome stress, organization, individual, psychological prevention, burnout syndrome, technology

Введение

Профилактическое (превентивное) направление преодоления стресса может происходить за счет изменения стрессорной реакции в результате повышения устойчивости организма и психики к воздействиям стрессора, поддержания функционального состояния и работоспособности на устойчивом рациональном уровне, снижения чрезмерных функциональных, эмоциональных и поведенческих реакций на стрессогенное воздействие, восстановления функционального состояния после выраженных стрессорных воздействий. Данное направление преодоления стресса имеет, как правило, оперативный характер коррекционных воздействий. Оно связано с созданием рациональных, благоприятных условий для жизни и деятельности человека, носит достаточно генерализованный характер, рассчитанный на предотвращение стресса за счет приспособления окружающей среды и деятельности (ее содержания, условий протекания и организации) к особенностям, возможностям людей (как правило, достаточно широкого их контингента). Вопросам профилактики и преодоления стресса посвящено большое количество научных работ [1-4].

Профилактика и нахождение путей преодоления стресса осуществляется, как на уровне организации, так и на уровне отдельного индивида.

На уровне организации профилактика стресса и стрессовых ситуаций может осуществляться за счет правильного подбора и расстановки кадров, постановки конкретных и реально выполнимых задач, верного проектирования работ, взаимодействия с членами коллектива и группового принятия решений, а также реализации программы оздоровления работников, позитивным подкреплением в виде похвалы, материальными бонусами. Адекватное управление персоналом, психологическая осознанность и проработанность руководителя является главным фактором профилактики стресса в организации. Руководитель, отыгрывающий свои психологические защиты, травмы всегда является фактором повышенного стресса [5].

На уровне отдельного индивида основной задачей психопрофилактики работы со стрессом и проявлениями синдрома эмоционального выгорания является создание условий, содействующих адекватному и компетентному реагированию личности на стрессогенные факторы, формирование стрессоустойчивости [6].

Психопрофилактика направлена на создание посредством психолого-педагогических технологий условий для предотвращения ситуаций, факторов, вызывающих психологическое напряжение, стрессы и травмы, а также на повышение психологической толерантности (невосприимчивости) к ним. С целью психологической профилактики стрессов и синдрома эмоционального выгорания используются следующие технологии. Прежде всего, работа с психологом, направленная на самопознание, самопринятие, самоуважение, самоценность [7, 8]. Проработка семейного сценария и родительско-детских отношений, психологических травм и защит:

Повышение социально-психологической компетентности специалистов. Осуществляется в ходе проведения семинаров по проблемам психологии стрессов и их пагубном воздействии на физическое и психическое здоровье человека.

Совершенствование способов деятельности. С этой целью – вовлечение сотрудников в социально и профессионально значимые инновации, повышение квалификации, стимулирование профессионального роста, личностно ориентированная аттестация, обогащение социально-профессиональной компетентности (освоение смежной

специальности, разработка инновационного проекта, изучение и овладение новой технологией и др.).

Личностно ориентированная диагностика, направленная на повышение аутопсихологической компетентности личности и определение стресс-симптомов.

Оптимизация психологического климата в организации. С целью уменьшения эмоциональной перенасыщенности деятельности целесообразно создание зон комфортных для отдыха, индивидуальная работа с психологом. Обязателен ежегодный отпуск сотрудников, похвала, поддержка и материальное поощрение. Важное значение имеет овладение, прежде всего руководителем и далее, уже сотрудниками приемами эмоциональной саморегуляции.

Оптимизация межличностного взаимодействия в коллективе. В связи с тем, что человек обладает целой ролевой системой, т.е. выполняет несколько социальных ролей, может возникать ролевая напряженность и даже ролевой конфликт. Смешение социальных ролей, когда в пространство профессионального взаимодействия вмешиваются иные виды отношений и связей, также является возможной причиной возникновения стресс-симптомов и, в итоге, формирования профессиональных деформаций. В коллективе важно выполнять профессиональные задачи, а не обыгрывать семейные модели и сценарии, также не завоёвывать внимание коллег и руководителя, принимать себя и их такими, какие есть, умение предъявлять эмоции и чувства от своего лица, защищать себя, уважать, прояснить ситуации при манипулятивном поведении со стороны коллег или руководителя. Иметь внутреннее право *быть*.

Создание системы мероприятий, повышающих значимость профессии. Некоторые исследователи большую ответственность за выгорание работников возлагают на руководителей. Руководителю необходимо так структурировать работу и организовывать рабочие места, чтобы дело стало более комфортным и ценным для сотрудника. Чтобы повысить значимость труда сотрудников, используются такие традиционные формы, как постоянно действующие проблемные семинары, система индивидуальных консультаций, система мероприятий для удовлетворения социально-психологических (моральных и материальных) потребностей в признании, самоутверждении, самовыражении сотрудников организации. [9,10]. Социальное признание и материальные поощрения в какой-то мере могут окупить душевные затраты и препятствовать выгоранию.

Большой популярностью для предупреждения и преодоления выгорания пользуются различные тренинги. Они могут проводиться как в сплоченной команде, так и с работниками из различных подразделений. Согласно опубликованным данным, тренинги совмещают несколько подходов: техники релаксации, управление когнитивным стрессом, тайм-менеджмент, тренинг социальных умений, управление дидактическим стрессом и изменение установок. Но самое важное и ценное индивидуальная работа сотрудника и самого руководителя с психологом, значимо оплачивать сессии за счёт работодателя для повышения в том числе и финансового уровня организации.

Заключение

В настоящее время специалистами в области психологии и медицины разрабатывается индивидуальные паспорта здоровья, которые направлены на индивидуальную помощь личности определять уровень раздраженности, возможности нервного срыва, угрозы стресса, дистресса. А главное - психопрофилактика и медицинская поддержка, направленные на сбережения психофизиологического здоровья каждого человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов Ф.М. Психологические рекомендации при профессиональном стрессе и синдроме эмоционального выгорания. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 2. С. 187-188.
2. Бодров В.А. Информационный стресс: Учебное пособие для вузов. М.: ПЕР СЭ. 2021. 352 с.
3. Кришбаум Э.И. Психологическая защита / Э.И. Кришбаум, А.И. Еремеева. – 3-е изд.- М. : Смысл; СПб. : Питер. 2019. 176 с.
4. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. Разработка основных направлений совершенствования стиля руководителя в ВУЗах, районных поликлиниках и стационарах. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 351-353.
5. Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю., Фролов С.В. Факторы формирования позитивного имиджа руководителя. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 356-350.
6. Осипов Ф.М. Особенности влияния профессиональной деятельности на здоровье врачей, причины возникновения синдрома эмоционального выгорания у врачей. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 2. С. 185-186.
7. Макарова И.А., Прохоров В.Ю. Современные технологии обучения. Метод Case Study в преподавании технических дисциплин. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2020. Т. 1. С. 212-214.
8. Токарева О.В., Червоноокая С.М. Влияние дистанционных методов обучения на качество подготовки специалистов. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2010. № 2. С. 90-94.
9. Галогаев Ю.А., Осипов Ф.М. Организация и методы экспериментального исследования содержательных профессиональных характеристик успешного менеджера современного ВУЗа. Экономика и предпринимательство. 2016. № 2-1 (67). С. 508-513.
10. Осипов Ф.М. Уникальность жизненного пути человека. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2021. Т. 2. С. 256-257.

*УДК 351, **330.59***

Мурзина И.А.
Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
mirgmu@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА КАК ПРИОРИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ РФ

Аннотация. Проведен анализ основных направлений реализации государственной политики в области развития человеческого капитала. Подчеркнута важность принятых нормативно-правовых актов, национальных проектов, направленных на улучшение качества жизни населения и повышение эффективности человеческого капитала.
Ключевые слова: человеческий капитал, качество человеческого капитала, государственная политика, национальные проекты

Murzina I.A.
Penza State University, Penza, Russia
mirgmu@mail.ru

FORMATION AND DEVELOPMENT OF HUMAN CAPITAL AS A PRIORITY OF STATE POLICY OF THE RF

Annotation. An analysis of the main directions of implementation of state policy in the field of human capital development was carried out. The importance of adopted regulations and national projects aimed at improving the quality of life of the population and increasing the efficiency of human capital was emphasized.
Key words: human capital, quality of human capital, state policy, national projects

В настоящее время вопрос формирования и развития человеческого капитала играет важную роль в системе государственного стратегирования. Развитие человеческого капитала и эффективное его использование выступает, безусловно, в качестве приоритетного направления. Совершенствование системы человеческого капитала на макроуровне способствует повышению уровня жизни, а также способствуют структурным преобразованиям и росту эффективности национальной экономики [1-3].

Осознание ключевой роли человеческого капитала как главного фактора повышения конкурентоспособности национальной экономики предопределяет решение неотложных вопросов по качественно новому пути его развития. Возникает необходимость комплексного исследования роли человеческого капитала в социально-экономическом развитии страны и региона. Человеческий капитал в узком его понимании можно определить с точки зрения совокупности характеристик населения рассматриваемых в качестве объектов инвестирования, в которые включаются уровень здравоохранения, обучения, жизни, производительности труда [4].

В широком же понимании человеческий капитал можно рассматривать как фактор производства, который требуется для развития таких сфер, как общественная, экономическая и семейная; и включающий в себя такие параметры, как интеллектуальные, управленческие и трудовые, способствующие организации рациональной среды функционирования человеческого капитала в качестве интенсивного производительного фактора [4].

Качество человеческого капитала в России оценивается по конкретным количественным показателям, связанным с двумя основными коэффициентами: индекс человеческой жизни и индекс человеческого развития, которые являются общепринятыми показателями по вопросам развития человеческого капитала. За последние 10 лет значимый рост показателя индекс человеческого развития был в 2012 г., что стало логичным развитием после кризисного явления в отечественной экономике. В 2021 г. показатель впервые за 10 лет снизился, показав негативную динамику из-за последствий кризиса 2020 [14, с. 15].

Стоит также отметить, что человеческий капитал в России за 2022 г. масштабно уменьшился из-за внешнеполитических изменений. За год было проведено две волны эмиграции людей из России. Так, из страны за осень 2021 г. выехало от 700 тыс. до 1,5 млн. человек, по разным источникам, подавляющее большинство которых составляли основу человеческого капитала (такие как программисты, аналитики, веб-дизайнеры, тестировщики, менеджеры проектов и другие высококвалифицированные кадры). Таким образом, отечественный человеческий капитал претерпел существенные изменения в 2022 г. [14].

Главными проблемами, которые сдерживают развитие человеческого капитала, являются: демографический кризис в стране и, как следствие, старение населения; низкая продолжительность жизни; ухудшение состояния здоровья населения, обусловленное техногенными изменениями и загрязнением окружающей среды; уменьшение доли трудоспособного населения, что приводит к недостатку квалифицированного

человеческого капитала по всем направлениям экономической деятельности; низкий уровень жизни; рост масштабов трудовой миграции, утрата интеллектуального капитала и т. д. [4, с. 131].

Для решения обозначенных проблем и достижения целей государственной политики в сфере развития человеческого капитала разработаны соответствующие программные документы, национальные проекты и нормативно-правовая база [6].

На сегодняшний день, развитие человеческого капитала находит свое отражение в Прогнозе долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Так, в 4 главе подробно рассматриваются такие элементы развития, как развитие рынка труда; динамика доходов населения, изменение структуры расходов и социальной структуры общества; развитие экономики образования; развитие экономики здравоохранения; развитие культуры и массовых коммуникаций; развитие жилищного строительства и рынка жилья.

В п. 4.1 говориться, что к 2030 году существенно возрастет количество граждан пенсионного возраста (60 - 72 года), которые традиционно имеют низкую степень экономической активности. При этом сокращение численности населения в основном будет связано с когортами 20 - 40-летних, экономическая активность которых выше среднего уровня. Экономическая активность молодой части населения может сдерживаться ростом спроса на высшее образование. Развитие сферы образования, намеченное на период до 2030 года, должно быть ориентировано на повышение доступности и качества образования, подготовку квалифицированных кадров всех уровней профессионального образования, способных быстро реагировать на запросы рынка труда (п. 4.3). Развитие здравоохранения на период до 2030 года должно быть ориентировано на создание эффективной системы, способной обеспечить население своевременными профилактическими мероприятиями, доступной и качественной медицинской помощью, с использованием достижений медицинской науки, а также реабилитационной и санаторно-курортной помощью (п. 4.4) [7].

В состав национального проекта «Наука и университеты» входит Федеральный проект «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок», задачей которого является повышение привлекательности российской науки и образования для ведущих российских и зарубежных ученых, молодых исследователей и обучающихся. Мероприятия проекта направлены на обеспечение доступности высшего образования; создание сбалансированной системы воспроизводства кадров для сектора исследований и разработок; повышение уровня квалификации управленческих кадров в сфере науки и высшего образования [8].

Государственная политика в отношении людей старшего возраста призвана создать достойные условия для жизни на пенсии. Реализации политики способствуют меры, предусмотренные «Стратегией действий в интересах граждан старшего поколения в Российской Федерации до 2025 года» и Федеральным проектом «Старшее поколение» национального проекта «Демография». На реализацию мероприятий в реабилитационных центрах Фонда пенсионного и социального страхования Российской Федерации заложены финансовые средства для компенсации расходов работодателей, что должно повысить заинтересованность в профилактике и мониторинге состояния здоровья работников [9].

Развитие человеческого и социального капитала и качество жизни определяются не только экономическими факторами, но и наличием возможности проявить и применить свой талант для каждого человека. Современной экономике требуются специалисты, обладающие «компетенциями 21 века», способные к новаторству, поэтому необходимым элементом культурного, научно-технического и экономического развития России является эффективная работа системы по выявлению молодых талантов. Для этой цели в России был принят ряд нормативно-правовых документов, в частности, «Концепция общенациональной системы выявления и развития молодых талантов» (утв. Президентом РФ 03.04.2012 № Пр-827). В целях раннего выявления, развития и профессиональной поддержки одарённых детей, имеющих выдающиеся способности в области спорта, искусств и естественнонаучных дисциплин создан образовательный центр «Сириус». Центр ежегодно обучает по своей программе по 800 талантливых детей из всех регионов страны [10].

Качественное образование играет важную роль не только для людей, но и для государства. В рамках Национального проекта «Образование» успешно реализуется федеральный проект «Успех каждого ребенка», нацеленный на обеспечение глобальной конкурентоспособности российского образования. Решение задачи повышения качества общего образования в России осуществляется посредством таких механизмов, как обновление учебных материалов и методической базы; повышение квалификации педагогов; ведение мониторинга учебных достижений обучающихся и качества образования. Высококвалифицированные специалисты, обладающие актуальными знаниями и умениями, являются ключевым фактором экономического развития,

вследствие чего, государство заинтересовано в повышении качества образования и обеспечения его доступности населению [11].

Для качественной реализации задачи обучения и воспитания детей и молодежи на основе традиционных российских духовно-нравственных и культурно-исторических ценностей в 2022 году утвержден Указ Президента Российской Федерации от 09.11.2022 № 809 «Об утверждении Основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей». В документе перечислены и определены сами ценности, а также то, что может представлять для них угрозу. Традиционные ценности как основа российского общества, призваны осуществлять сбережение народа России и развитие человеческого потенциала. В числе приоритетных областей, в которых реализуется государственная политика по сохранению и укреплению традиционных ценностей, названы образование и воспитание [12].

С целью организации бесплатного профессионального обучения, повышения конкурентоспособности и профессиональной мобильности на рынке труда реализуется Федеральный проект «Содействие занятости». Современный рынок труда предъявляет все больше требований к соискателям вакансий, поэтому участие в проекте важно для обеспечения профессиональной мобильности на рынке труда [13]. Следует отметить, что и другие реализуемые в России национальные проекты охватывают все ключевые направления повышения качества жизни населения России.

Человеческий капитал, на сегодняшний день, является интенсивным фактором развития не только экономики, но и всей социально-политической системы и, в первую очередь, общества, семьи, самого человека, знаний, трудовых ресурсов, науки, образования. Именно человеческий капитал определяет и обеспечивает эффективное функционирование и уровень их развития, безопасности и улучшения качества жизни. Поэтому важно продолжать реализацию государственной политики, нацеленную на развитие и повышение эффективности использования и формирования человеческого капитала. И значимым шагом в этом направлении является принятие новых национальных проектов, объявленных Президентом РФ в Послании Федеральному Собранию в феврале 2024 г.: «Семья», «Продолжительная и активная жизнь», «Молодежь России», «Кадры» и «Экономика данных», которые как раз и будут направлены на решение проблем кадрового дефицита, воспитания молодежи, продолжительности жизни, а также решение вопросов демографического потенциала страны [14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатырева В. В. Роль социального и человеческого капиталов в формировании и функционировании социально-экономической системы государства // Экономическая наука сегодня. 2020. №11. С. 5-11
2. Шарохина С.В., Шевченко Т.А., Кокорина О.К. Концепция человеческого капитала в стратегии управления человеческими ресурсами // Инновации и инвестиции. - 2021. - №2. - С. 72-76
3. Мурзина И.А. Анализ эффективности цифрового государственного управления // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2020. Т. 2. С. 327-328
4. Яковенко Н.В., Сафонова И. В. Сущность и содержание человеческого капитала и его роль в социально-экономическом развитии региона // Проблемы региональной экологии. 2020. №5. С. 129-133.
5. Тумаров Т.Ф., Тенденции развития человеческого капитала, ресурсов и потенциала в России// Human Progress. 2023. №1. С. 12-19
6. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: указ Президента РФ от 07.05.2018 № 204 [Электронный ресурс]. Доступ из системы ГАРАНТ - 2024
7. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года от 25.03.2013 [Электронный ресурс]. Доступ из Справочной правовой системы «Консультант Плюс» - 2024.
8. Паспорт Федерального проекта «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.minobrnauki.gov.ru/upload (дата обращения 02.04.2024)
9. Паспорт Федерального проекта «Старшее поколение» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://mintrud.gov.ru/uploads/magic/ru-RU/Ministry-0-1173.7038.pdf (дата обращения 02.04.2024)
10. Концепция общенациональной системы выявления и развития молодых талантов от 03.04.2012 № Пр-827 [Электронный ресурс]. Доступ из Справочной правовой системы «Консультант Плюс» - 2024
11. Паспорт Федерального проекта «Успех каждого ребенка» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://minobr.gov-murman.ru/documents/np/uspekh-kazhdogo-rebenka-pasport-fp.pdf (дата обращения 01.04.2024)
12. Об утверждении Основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей: указ Президента Российской Федерации от 09.11.2022 № 809 [Электронный ресурс]. Доступ из Справочной правовой системы «Консультант Плюс» - 2024
13. Паспорт Федерального проекта «Содействие занятости» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://mintrud.gov.ru/uploads/magic/ru-RU/Ministry-0-1172.pdf (дата обращения 01.04.2024).
14. В России появятся пять новых нацпроектов: что анонсировал Путин [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ura.news/news/1052738660 (дата обращения 04.04.2024).

УДК 004.09

Лукин[1] В.Д., Верховский[2] М.В., Барсуков[3] Н.И.

[1,2,3] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] vs.d.lukin@gmail.com

[2] mishaverxovskiy01@gmail.com

[3] nikita-bar@bk.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БРОКЕРОВ СООБЩЕНИЙ

Аннотация. Осуществляется задача анализа различных брокеров сообщений с целью определения их эффективного применения в конкретных сферах. Соответствием критерию эффективности является соотношение затраченных ресурсов на развертывание и поддержку и целесообразность использования конкретного брокера в конкретных задачах. Возможности брокера должны соответствовать предъявляемым к нему требованиям. Актуальность данной тематики довольно высока, так как все больше приложений используют микросервисную архитектуру, где очень важно обеспечивать обмен сообщениями между отдельными сервисами. Рассматривается возможность определения способов применения брокера сообщений в зависимости от его функциональных возможностей.

Ключевые слова: брокер сообщений, эффективность, целесообразность, архитектура, сообщения, функциональные возможности

Lukin[1] V.D., Verkhovskiy[2] M.V., Barsukov[3] N.I.

[1,2,3] Penza State University, Penza, Russia

[1] vs.d.lukin@gmail.com

[2] mishaverxovskiy01@gmail.com

[3] nikita-bar@bk.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF MESSAGE BROKERS

Annotation. The task of analyzing various message brokers is being carried out in order to determine their effective application in specific areas. Compliance with the efficiency criterion is the ratio of resources spent on deployment and support and the expediency of using a specific broker in specific tasks. The broker's capabilities must meet the requirements imposed on him. The relevance of this topic is quite high, as more and more applications use a microservice architecture, where it is very important to ensure the exchange of messages between individual services. The possibility of determining how to use a message broker, depending on its functionality, is being considered.

Keywords: message broker, efficiency, expediency, architecture, messages, functionality

Введение

Работа с данными — это сложный процесс. Необходимо учитывать больше количество аспектов, таких как скорость передачи, объем, срок хранения и тп. Данные необходимо правильно хранить, передавать, анализировать и создавать на их основе новые. Все приложения создают данные, начиная от простых записей в журнал заканчивая обменом сообщений между пользователями. Данные постоянно перемещаются. От быстроты и адаптивности этого процесса зависит эффективность работы предприятия. У информации может быть несколько производителей и несколько потребителей, если не контролировать процесс обмена сообщений, то это значительно замедлит работу компании, и она понесет убытки. Для этой цели и вводятся брокеры обработки сообщений.

1. Принцип обмена сообщениями.

В процессе обмена сообщений принимает участие ряд сущностей. Одни организовывают генерацию данных, другие используют их в своих определенных целях. Это производители и потребители [1]. Управляет процессом распределения сообщений брокер. Это, в идеале, отдельный сервер, на котором происходит вся маршрутизация данных.

В сущности, все брокеры сообщений строятся по одному принципу обмена сообщений: «Публикация/подписка». Это паттерн проектирования, где отправитель не отправляет сообщение конкретному потребителю, а определенным образом классифицирует сообщение [1]. Получатель же читает только определенные классы сообщений подписавшись на них. В такой модели всегда есть посредник, тот кто хранит сообщения в соответствующих темах и уведомляет подписчиков о наличии новых данных для получения (рис 1).

Потребители же в свою очередь могу работать по двум следующим моделям:

pull – потребители сами периодически проверяют тему на наличие новых сообщений. Данная модель выгодна тем, что клиент способен сам регулировать собственную нагрузку.

push – сервер сам посылает запрос к клиенту с новыми данными.

Таким образом достигается максимальная эффективность в работе с сообщениями. Брокер выполняет роль некой службы, которая отвечает за маршрутизацию потоков данных, распределение нагрузки между потребителями, хранение и быстрый доступ к данным [1][2]. Перед тем как описать конкретные технологии организации

брокеров, поговорим о жизненном цикле сообщений. Вкратце все сообщения проходят через следующие этапы:

Производитель генерирует данные и отправляет их брокеру.

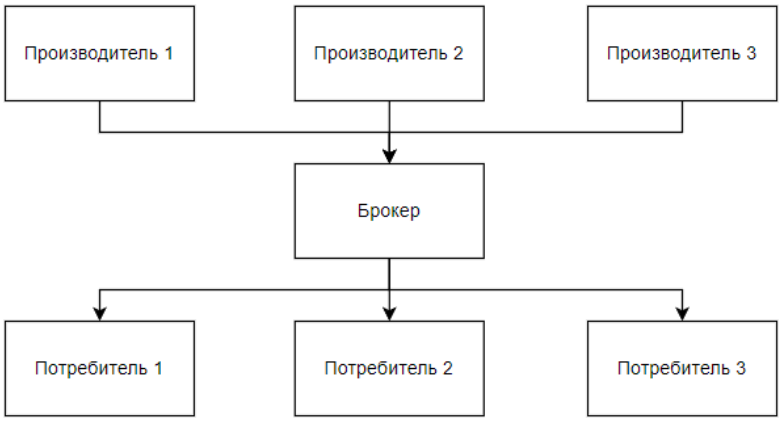


Рисунок 1 - Представление работы модели "Публикация/подписка"

Потребитель фиксирует за собой сообщение и его уникальный идентификатор.

Брокер помечает сообщение. Оно все ещё хранится на сервере, но становится недоступным для других потребителей.

Потребитель работает с данными полученными из сообщения, затем отправляет запрос на сервер, сигнализирующий об окончании работы или об ошибке.

После окончания работы с сообщением, брокер его удаляет. В случае возникновении ошибки, например, потребитель не смог его прочитать, сообщение отправляется снова.

2. Применение брокеров.

Особое распространение данная технология получила в микросервисной архитектуре, где в отличие от монолитного приложения, каждый отдельный компонент выполняет свою особую функцию и существует отдельно от других. При такой организации очень важно, чтобы информация быстро и без потерь доходила от одного сервиса к другому. Особо это важно при конвейерной обработке данных, где необходимо иметь хорошо налаженную структуру обмена сообщениями. Сервисам не обязательно знать о существовании друг друга, они лишь получают данные от брокера, выполняют свои задачи, и оправляют их назад. Брокер позволяет перераспределять между ними нагрузку, что особенно важно в высокопроизводительных системах.

3. Анализ существующих решений.

В данной работе будут рассмотрены следующие брокеры сообщений: **Apache Kafka** и **RabbitMQ**. Все они активно используются в автоматизации процесса обмена сообщениями, однако, у каждого из них есть свои особенности, достоинства и недостатки. Проведем сравнительный анализ каждого из них с целью выявить их области применения.

Начнем с брокера сообщений **RabbitMQ**. Это достаточно мощный сервис, широко использующийся в создании распределенных систем. Данный брокер обладает открытым исходным кодом, который к тому же реализует протокол **AMQP**. Производительность **RabbitMQ** зависит от конфигурации, однако приблизительно она составляет 50000 сообщений в секунду. Сообщение хранится до тех пор, пока потребитель не подтвердит получение. После этого оно удаляется из очереди. Помимо производителей и получателей в **RabbitMQ** присутствует своя особенная сущность — обменник или точка обмена (**Exchange**). Суть заключается в том, что все сообщения прежде, чем попасть в конкретную очередь проходят через процесс маршрутизации. Брокеру необходимо определить куда именно пойдут данные, для этого в обменнике он читает ключ маршрутизации с сообщения и в зависимости от типа обменника определяет, в какую очередь попадут данные.

Поговорим более подробно про механизм маршрутизации. В **RabbitMQ** сообщения не заносятся сразу в очередь, вместо этого они сначала попадают в обменник, где в зависимости от ключа маршрутизации сообщение отправляется уже в конкретную очередь или очереди. Ключ представляет из себя строку, значение и формат которой определяется конкретным типом обменника. Существует 4 типа обменника, все они представлены в таблице 1.

Данный механизм предоставляет очень гибкие настройки для маршрутизации, что может быть полезно, когда необходимо отправлять сообщения на множество различных потребителей.

Достоинства: Открытый исходный код, а также множество пользовательских библиотек, что позволяет достаточно гибко настроить **RabbitMQ** под свои нужды.

Удобный механизм маршрутизации. Необходимо лишь настроить тип обменника и он уже сам будет выбирать какие сообщение в какую очередь отправить.

Недостатки: Работа при высоких нагрузках. При увеличении нагрузки на кластер наблюдаются проблемы в производительности, приходится менять конфигурацию и в некоторых случаях жертвовать гибкостью.

Практически все брокеры не хранят полную очередь сообщений, потребитель прочитал данные – брокер их удалил. Однако не всем может подойти данная модель. Необходимость в хранении сообщений особо актуальна при аналитике больших данных, когда нужно сохранить информацию как для текущих задач, так и для будущих. Apache Kafka поддерживает не только хранение, но и высокую производительность при работе с большими объемами данных. Кроме того Kafka поддерживает разные модели доставки сообщений, которые подходят под разные задачи[3].

Типы обменников Таблица 1

Тип обменника	Описание работы	Пример ключа
Direct	Отправка в одну или несколько очередей в зависимости от значения ключа маршрутизации	«cars» «houses»
Fanout	Отправка сообщений во все очереди. Ключ игнорируется	«» «cars»
Headers	Игнорирование ключа маршрутизации. Очередь выбирается в зависимости от атрибутов в заголовке сообщения	«»
Topic	Аналогично Direct, но в данном случае ключ задается согласно шаблону	«cars.sport.ford» «cars.sport.*» «cars.sport.#»

Всего таких моделей три:

не менее одного раза — сообщение будет оправляться до тех пор, пока потребитель не подтвердит доставку;

не более одного раза — сообщение отправляется один раз, если в процессе возникли проблем или данные не дошли до потребителя, то повторной отправки не будет;

точно один раз — потребитель гарантировано получит сообщение ровно один раз.

Если со всеми остальными семантиками все понятно, то «точно один раз» вызывает ряд вопросов. Например, возможна ли данная модель в принципе? Дискуссии на данную тему ведутся давно, однако разработчики Kafka определяют данную семантику следующим образом: в не зависимости от того сколько раз производитель отправит сообщение, потребитель получит его ровно один раз [4].

Так же стоит подробно остановится на организации хранения очередей. В данном рассматриваемом брокере все данные размещаются в темы. На темы могут подписываться потребители. Сами темы состоят из разделов, обычно их столько, сколько брокеров в кластере. Это обеспечивает надежную горизонтальную масштабируемость. Потребители читают сообщения в порядке их создания. Так же он помечает уже прочитанные сообщения с помощью смещения. Это необходимо для того, чтобы потребитель мог приостанавливать и возобновлять свою работу, не забывая, в каком месть он читал. За счет разбития темы на разделы достигается доступность данных в случае непредвиденных ситуаций, когда один из брокеров в кластере может выйти из строя. Так как в Kafka реализован механизм репликации данных, где каждый раздел имеет насколько копий, распределенных по разным брокерам в кластере, то вероятность полной потери данных стремится к миниуму.

В связи с распределенной архитектуре обработки сообщений, Kafka обладает высокой производительностью. Брокер может с легкостью обрабатывать миллионы сообщений в секунду.

Достоинства:

Высокая производительность. При этом она с легкостью расширяется, путем создания нового кластера и настройки репликации со старым;

Доступ к старым сообщениям. Убирает риск потери сообщений, так как всегда можно откатить смещение и перечитать содержимое очереди;

Контроль работы кластера через ZooKeeper. С его помощью можно оперативно получить информацию о работе всего кластера (все ли реплики распределены по брокерам, какой брокер в данный момент простаивает и тп.).

Недостатки:

Необходимо вести учет последнего прочитанного сообщения для каждого потребителя;

Наблюдаются проблемы с чтением поврежденных сообщений, в RabbitMQ такие сообщение заново помещаются в очередь, в Kafka они теряются навсегда.

Заключение

В ходе анализа можно прийти к выводу, что каждый из представленных брокеров подходит для конкретных задач. Если нужен высокопроизводительный сервер с возможностью хранения истории сообщений, то для этих целей идеально подходит Apache Kafka. Если же нужна гибкая маршрутизация сообщения и возможность написания своих моделей маршрутизации, то стоит определенно выбрать RabbitMQ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Apache Kafka. Потоковая обработка и анализ данных. — СПб.: Питер, 2019. — 320 с.: ил. — (Серия «Бестселлеры O’Reilly»).

2. https://habr.com/ru/companies/slurm/articles/550934/

3. Kafka в действии / пер. с англ. А. Н. Киселева. – М.: ДМК Пресс, 2022 – 310 с.: ил.

4. N. Narkhede. «Exactly-once Semantics Are Possible: Here’s How Apache Kafka Does It». Блог Confluent (10 марта 2024). https://www.confluent.io/blog/exactly-once-semantics-are-possible-heres-how-apache-kafka-does-it (доступно по состоянию на 10 марта 2024).

УДК 658.512.22:534.539.3

Балыбердин[1] А.Ю., Резчикова[2] Е.В.

[1,2] Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

[1] info_gcpp@mail.ru

[2] rezc-elena@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ АКУСТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕХНОСФЕРЫ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМ

Аннотация. В работе рассмотрена проблема акустического загрязнения техносферы и методы борьбы с ним. Кратко проанализированы активные и пассивные методы защиты от акустических шумов. Предложены подходы для построения эффективных средств защиты от акустического загрязнения. В заключении даны рекомендации по методам и средствам решения проблем акустического загрязнения техносферы.

Ключевые слова: шум, вибрации, защита, подавление, active noise control, акустический импеданс

Baliberdin[1] A.Yu., Rezchikova[2] E.V.

[1,2] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

[1] info_gcpp@mail.ru

[2] rezc-elena@yandex.ru

RESEARCH OF THE PROBLEMS OF ACOUSTIC POLLUTION OF THE TECHNOSPHERE AND METHODS OF COMBATING IT

Annotation. The paper examines the problem of acoustic pollution of the technosphere and methods of combating it. Active and passive methods of protection against acoustic noise are briefly analyzed. Using TRIZ, approaches have been proposed for constructing effective means of protection against acoustic pollution. In conclusion, recommendations are given on methods and means of solving the problems of acoustic pollution of the technosphere.

Keywords: noise, vibration, protection, suppression, active noise control, acoustic impedance

Введение

В настоящее время существует значительное количество средств защиты от вредного шума. Они создавались на протяжении многих лет и становились все сложнее с развитием техники и увеличения ее мощности. При этом, поскольку акустический шум тесно связан с вибрационными процессами, часто требуется комбинированная защита как от шума, так и от вибрации. Классификация современных средств шумозащиты приведена на рисунке 1.

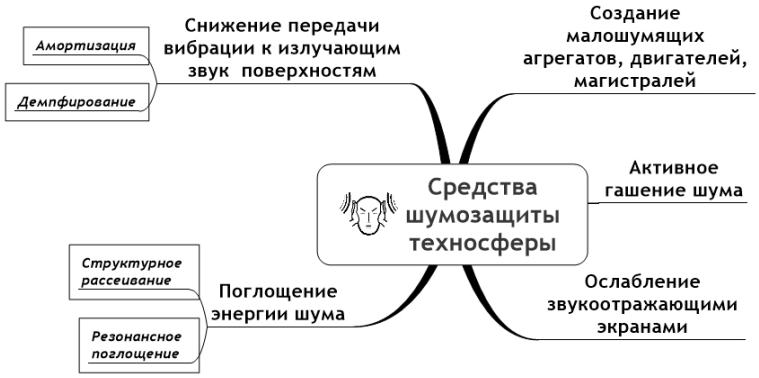


Рисунок 1 – Классификация средств защиты от шума

Акустика – обширная область физики, которая исследует упругие колебания и волны от самых низких частот до предельно высоких.

Человек начинает слышать звук при постоянных колебаниях, производимых с определенной частотой. Одно из основных определений акустики – это звуковая волна, которая представляет собой вибрации, давление которых непосредственно зависит от источника. Например, сигнал автомобильного клаксона осуществляется с более высоким колебанием, чем человеческий шепот. Проанализируем проблемы акустического загрязнения техносферы и методы борьбы с ним.

1. Обзор литературы

Использование акустики востребовано абсолютно всеми областями, начиная от строительства, заканчивая медициной. Данный научный раздел изучает колебания звуковых волн, принципы их формирования и распределения [1].

Современная акустика охватывает достаточно широкий круг вопросов, в ней выделяют ряд таких важных подразделов:

физическая акустика - изучает особенности распространения упругих волн в различных пространствах;

физиологическая акустика - описывает устройство и работу звукообразующих и звуковоспринимающих органов у человека и животных.

В более узком смысле слова под акустикой следует понимать учение о звуке, то есть об упругих вибрациях в газах, твердых телах и жидкостях, воспринимаемых человеческим ухом. Звуковая волна способна отражаться от поверхностей, рассеиваться в них или поглощаться. Параметр отражения силы звука определяется тем, какие акустические характеристики она имеет и что было пройдено звуковой волной.

Звуковые волны и колебания - частный случай механических изменений. Однако в связи с важностью акустических определений для правильной оценки слуховых ощущений, а также из-за медицинского приложения целесообразно будет некоторые вопросы разобрать более детально. На сегодняшний день принято различать следующие звуки: тоны или музыкальные звуки, шумы, звуковые удары.

Акустическое загрязнение окружающей среды - интенсивный шум и следовательно, нежелательный звук, возникающий в результате человеческой деятельности. Хотя звук химически или физически не изменяет и не повреждает окружающую среду, как это происходит при загрязнении воздуха или воды, он может достигать такой интенсивности, что вызывает у людей психологический стресс или физиологические нарушения. В этом случае можно говорить об акустическом загрязнении среды [2].

Как и любое загрязнение окружающей среды, шум чаще всего возникает там, где высока концентрация населения, основные причины представлены на рисунке 2. Автомобильное движение – основной источник шума на городских улицах. Оборудование, применяемое при строительстве и ремонте домов и дорожных покрытий, промышленные предприятия, звуковая реклама, автомобильные сигналы и многие другие источники звука увеличивают уровень шума на улицах. В самих домах электрические устройства, кондиционеры, телевизоры, радио, проигрыватели и магнитофоны нередко являются источниками повышенных шумов.

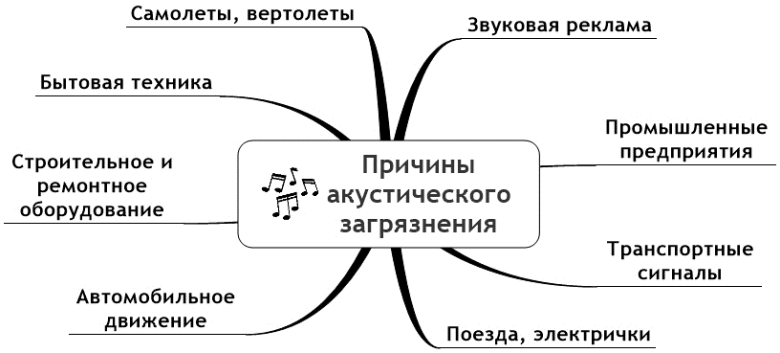


Рисунок 2 – Основные причины техногенного акустического загрязнения

Градации загрязнения могут определяться специальным устройством – измерителем уровня звука, который в общих чертах имитирует устройство человеческого уха. Прибор определяет звук по вибрации мембраны его микрофона под воздействием звуковых волн так же, как это происходит с барабанной перепонкой в ухе. Поскольку звук распространяется как волна, представляющая собой периодическое сжатие и разрежение воздуха (или другой упругой среды, которая встречается на пути), это вызывает соответствующие изменения давления воздуха вблизи мембраны. В результате возникает вибрация самой мембраны, трансформирующаяся в колебания электрического тока в приборе. Сила этих колебаний регистрируется прибором в единицах измерения, называемых децибелами (дБ). Порог слышимости для человеческого уха – это приблизительно 0 дБ, что эквивалентно звуковому давлению 0,0002 дины на квадратный сантиметр. Порог дискомфорта – примерно 120 дБ, а болевой порог 130 дБ. Обычно при изучении реакции человека на шум применяют не шкалу, описанную выше, а ее модификацию, т.н. шкалу А. Единицей измерения в этой шкале является дБА.

Шум может неблагоприятно воздействовать на человека. Если уровень шума высок и действие его продолжительно, это может вызвать потерю слуха. У рабочего, день за днем стоящего за грохочущим станком, или у музыканта, играющего в оркестре, может отмечаться постоянное снижение слуха, если он испытывает воздействие сильного шума в течение ряда лет. Глухота издавна считается профессиональной болезнью печатников и текстильщиков. Даже если шум непродолжителен, например, грохот отбойного молотка, он все же способен вызвать нарушения слуха. При этом вовсе не обязательно подвергаться вредному воздействию каждый день.

Шум воспринимается большинством людей как нечто раздражающее и беспокоящее, вызывая психологический и эмоциональный стресс, который с трудом поддается измерению. Шум может вызывать общую раздражительность, мешать нормальному сну, оказывать влияние на эффективность труда и речевого общения. Особенно сильное раздражение вызывает неожиданный шум, например, переход через звуковой барьер

сверхзвукового самолета, а также шум, источник которого не сразу удается установить. Возможно, в этом случае проявляется природный инстинкт самосохранения.

Длительное воздействие шума является причиной хронического утомления, головных болей и ощущения дискомфорта у многих людей, даже если уровень шума ниже, чем тот, что действительно причиняет боль. Врачи пытаются определить, как организм реагирует на шум, регистрируя показатели кровяного давления, состояния произвольной и непроизвольной мускулатуры, изменения характера дыхания, циркуляции крови, выделения пищеварительных соков и других характеристик, которые свидетельствуют о повышенном напряжении в организме. Реакция человека на шум разнообразна и сложна, а о длительном воздействии психологического стресса, с ним связанного, известно мало [3].

По виду источника шумы разделяются на естественные и антропогенные. К первым относятся природные звуки вроде ударов грома, шелеста листвы, камнепада и т.д. В ходе эволюции все живые организмы приспособились к ним, поэтому данный вид нельзя считать загрязнением. Со временем люди выделили основные виды шумов - рисунок 3.

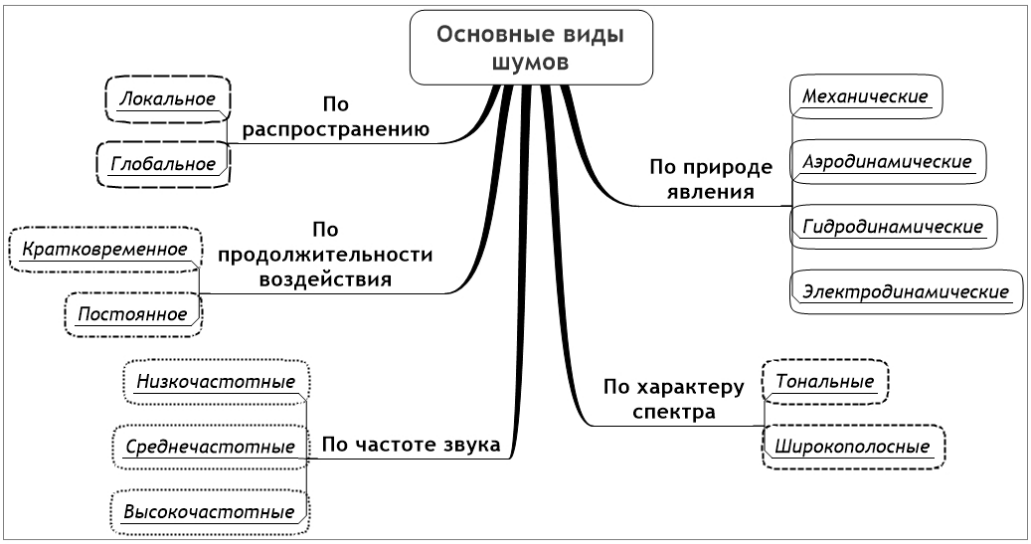


Рисунок 3 – Классификация акустических шумов

Шумовое загрязнение антропогенного происхождения былосвязано с массовым внедрением машин на производстве, для личного пользования и с наличием шумной бытовой техники.

2. Методы и модели

Методы защиты от акустического шума весьма разнообразны. Каждый метод - целое направление развития техники и технологий. Например, создание малошумящих технических систем связано с применением новых материалов, а также с повышением точности изготовления деталей машин. Для исключения передачи вибраций к резонирующим и излучающим поверхностям конструкций применяют амортизаторы, фильтрующие эти вибрации [4]. В ряде случаев на пути распространения вибраций ставят демпфирующие конструкции, используют демпфирующие покрытия. Иногда достаточно бывает поставить экран, отражающий звуковые волны. В общем случае для защиты от шума можно поставить преграду, на которой шум будет преобразовываться тремя вариантами см. рисунок 4.

Для поглощения звука используют звукопоглощающие материалы и покрытия. Такие материалы за счет своей структуры имеют высокий уровень механических потерь и превращают часть энергии звука в тепло. Специалисты отмечают, что существуют разнообразные подходы к созданию материалов, характеризующихся высоким вибропоглощением в широком диапазоне температур, на основе полимеров: сополимеризация, создание взаимно-проникающих сеток (ВПС) и полу ВПС, Введение наполнителей и других добавок, структурирование и создание слоистых ВПМ (вибропоглощающих материалов) [5].

В качестве звукопоглощающих слоев исследовались также микропористые продуваемые панели [6]. Для создания микропористого поглощающего слоя были использованы металлические сеточные панели так называемого саржевого плетения. Они хорошо поглощали шум и работали в широком диапазоне температур.

Из пассивных методов шумозащиты следует отметить также использование принципа резонатора Гельмгольца. В резонансных звукопоглощающих конструкциях энергия действующего шума гасится за счет возбуждения вынужденных колебаний воздуха в замкнутом объеме резонатора, в который звук попадает через узкое горло.

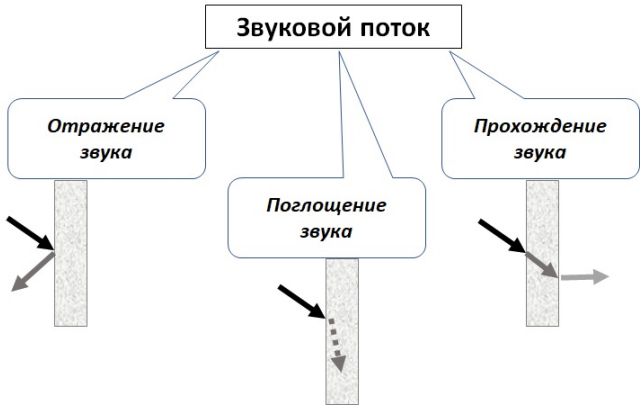


Рисунок 4 – Преобразования звукового потока преградой

Резонансная частота такой конструкции зависит от скорости внешнего звука, объема резонансной камеры и акустической проводимости отверстия резонатора. В свою очередь, акустическая проводимость зависит от площади сечения горла резонатора, длины этого горла и диаметра отверстия резонатора. Добротность таких резонаторов высокая, а полоса рабочих частот – узкая. Поэтому резонаторы настраивают на разные частоты, чтобы расширить полосу частот защиты.

Одним из наиболее эффективных методов защиты от шума на низких частотах (до 500 Гц) является активная шумозащита [7-16]. Принцип работы таких систем связан с гашением шумовой волны также шумовой волной, но в противофазе см. рисунок 5.

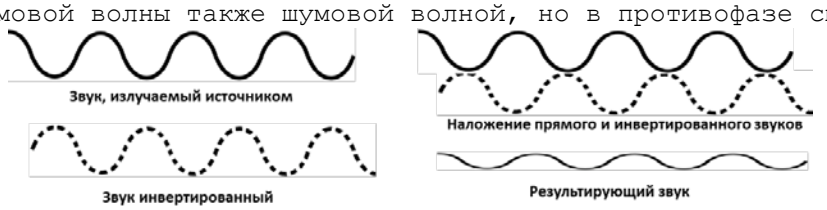


Рисунок 5 – Принцип динамического гашения звука

Работа системы активного гашения (САГ) шума основывается на принципе деструктивной интерференции, состоящем в том, что распространяющаяся звуковая волна может быть погашена путем ее смешения с инвертирующей звуковой волной, которая сдвинута по фазе относительно основной на 180°. В простейшем случае САГ шума представляет собой систему из принимающего микрофона, блока управления с усилителем, фильтрами фазовой и амплитудной коррекции и устройства фазовой инверсии, а также излучателя. В таких устройствах можно использовать классические фазовращатели — устройства, с помощью которых вводится в электрическую цепь известный и регулируемый фазовый сдвиг. Конструкция и принцип его действия зависят от диапазона частот, для которого он предназначен [7].

В последнее время появляется все больше публикаций, исследующих использовании шунтированных динамиков для поглощения шума [8].

В работах Флеминга с соавторами использовали катушку динамика в качестве разновидности резонатора Гельмгольца для подавления колебаний труб. Рассматривался шунтированный динамик в качестве резонатора Гельмгольца для отражения низкочастотного шума трубы.

Лиссек с соавторами были в числе тех, кто первый изобрели схемы шунтирования динамика для контроля полного импеданса стенки волновода.

Их работы сообщали о хорошем низкочастотном поглощении в относительно узком диапазоне частот, соответствующем резонансу шунтированного динамика.

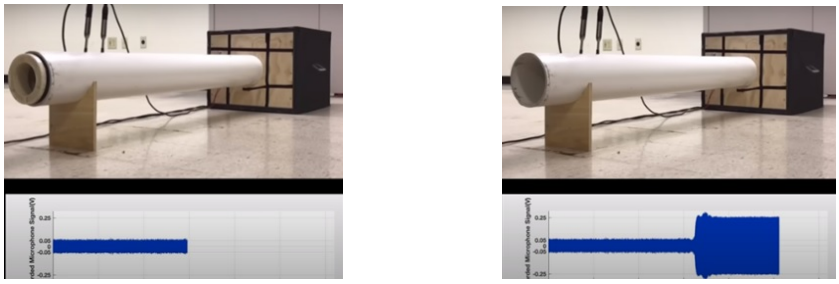
Изучалась эффективность различных схем шунтирования динамика для подавления шума. Хотя прошлые исследования обеспечили хорошее понимание в использовании шунтированных динамиков в качестве поглотителей шума, но полученные при этом результаты не привели пока к созданию и широкому использованию высокоэффективных устройств гашения шума. Поэтому работы в данном направлении требуют дальнейшего развития [17].

Работы по созданию методов защиты от шумов продолжаются. Американскими учеными разработан метод шумоизоляции, гасящий до 94% шумов.

Классические шумопоглощающие панели преграждают путь акустическим волнам и гасят звуковую энергию, часть которой преобразуется в тепло. Из-за особенностей конструкции и используемых материалов такие панели практически не пропускают воздух.

Специалисты Бостонского университета предложили «дышащее» пластиковое кольцо, которое блокирует до 94% шума. Его назвали «акустическим метаматериалом».

Такого распределения акустических волн исследователям из Бостонского университета удалось добиться при помощи специальной формы метаматериала — внутри кольца находится спиральный канал, по которому проходит звук. Акустические волны в этом канале отражаются от стенок, вступают в резонанс Фано и затихают см. рисунок 6.



а) б)

Рисунок 6 – Работа акустического метаматериала:
а) кольцо вставлено; б) кольцо удалено

Принцип работы метаматериала основан на резонансе Фано. При интерференции двух волн их энергия распределяется асимметрично. В результате в одной точке пространства звуковое давление повышается до максимальных значений, а в другой — снижается практически до нуля.

Ещё один акустический метаматериал разработали в Университете Южной Калифорнии. Он представляет собой решетчатую структуру из пластика с частицами железа, созданную при помощи 3D-принтера. Под воздействием магнитного поля эти частицы перемещаются, что меняет структуру материала и его акустические характеристики [10].

Заключение

Рассмотрена проблема акустического воздействия на окружающую среду, дано понятие акустики, упругих колебаний и волн. Рассмотрен широкий круг вопросов, охватываемый акустикой, проведен анализ основных причин акустического загрязнения. Дано определение акустического загрязнения окружающей среды. Произведен обзор существующих методов борьбы с акустическим загрязнением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов А.И., Володин Е.А., Семенцов С.Г., Шахнов В.А. Электронные системы активного управления волновыми полями: история и тенденции развития // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 2002. № 4. С. 3-23.
2. Власов А.И. Современное состояние и тенденции развития теории и практики активного гашения волновых полей // Приборы и системы управления. 1997. № 12. С. 59-70.
3. Власов А. И. Принципы активного подавления действия вибрационных полей на электронную аппаратуру // Приборы и системы управления. 1996. №11. -С. 30-32.
4. Мельников И.И., Резчикова Е.В., Сергеева М.Д., Соловьев В.А. Лабораторный комплекс по исследованию вибрационных воздействий на ячейки электронной аппаратуры // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2020. Т. 2. С. 136-139.
5. Сытый Ю.В., Самогонова В.А., Кислякова В.И., Большаков В.А. Новые вибропоглощающие материалы. Авиационные материалы и технологии // Научно-технический журнал. №2, 2012г
6. Соболев В.Ф. Звукопоглощающие конструкции с расширенной полосой затухания для каналов авиационных двигателей // Акустический журнал. 2000. Том 46. №4. С. 536-544.
7. Ванройе Н.К. Фазовращатель для системы активного гашения шума // Политехнический молодежный журнал. 2017. № 3.
8. Астраханцева А.Д., Худякова Н.Л., Комкин А.И., Семенцов С.Г. Шунтированный динамик как поглотитель звука // Акустика среды обитания. Сборник трудов: Третья всероссийская конференция молодых ученых и специалистов. - Москва. АСО 2018. С.34-42.
9. Адаптивные фильтры: Пер. с англ./Под ред. К.Ф.Н. Коуэна и П.М. Гранта. - М.: Мир. 1988. 392с.
10. Власов А.И., Семенцов С.Г., Поляков Ю.А. Микропроцессорные микросистемы активной акустической индивидуальной защиты // Микросистемная техника. 2000. №2. С. 5-20.
11. Власов А.И. Нейросетевая реализация микропроцессорных систем активной акусто- и виброзащиты // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2000. № 1. С. 40-44.
12. Власов А.И. Особенности построения систем автоматизированного синтеза и моделирования средств защиты от влияния волновых полей // Информационные технологии. 1997. № 9. С. 31-38.
13. Власов А. И. Аппаратная реализация нейроадаптивных систем активного управления волновыми полями в промышленном стандарте РС-104 // Информационные технологии. - 1998. № 12. С. 13-17.
14. Чеканов А.Н., Парфенов Е.М., Усачев В.П., Резчикова Е.В. Методы защиты электронной аппаратуры от механических и акустических воздействий/под ред. А.Н. Чеканова - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1987. - 44 с.
15. Теория активных виброзащитных систем - Иркутск. Изд-во Иркутск. политехн. ин-та 1974.
16. Власов Д.С., Малеванный А.Ю. Исследование систем активного управления акустическими полями на основе акустического импеданса // Датчики и системы. 2020. № 3 (245). С. 19-31.
17. Acoustic Metamaterial Noise Cancellation Device. Разработан метод шумоизоляции, гасящий до 94% шумов — рассказываем, как он работает. https://habr.com/ru/companies/audiomania/articles/444094/. Дата обращения 04.04.2024.

УДК 338.462

Власов[1] А.И., Петриченко[2] Д.Д., Фатхутдинов[3] Т.М.

[1,2,3] Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

[1] vlasovai@bmstu.ru

[2] petrichencko.daria@yandex.ru

[3] bluebird6991@gmail.com

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДУКТА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ УДОВЛЕТВОРЁННОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ (МЕТОД КАНО)

Аннотация. В настоящей работе описывается метод для исследования характеристик продукта на основе сравнительных оценок – метод Кано. Основное внимание уделяется группам характеристик, которые используются в методе Кано. Кратко приводится методика решения аналитической задачи метода Кано. Показано, что данный метод может быть использован для оценки эмоциональной реакции потребителей на отдельные характеристики продукта.

Ключевые слова: метод Кано, эмоции, эмоциональная удовлетворенность, привлекательные характеристики, характеристики обратного действия, нежелательные характеристики, анкетирование, системный анализ

Vlasov[1] A.I., Petrichenko[2] D.D., Fatkhutdinov[3] T.M.

[1,2,3] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

[1] vlasovai@bmstu.ru

[2] petrichencko.daria@yandex.ru

[3] bluebird6991@gmail.com

ANALYSIS OF PRODUCT CHARACTERISTICS FROM THE POINT OF VIEW OF CONSUMER EMOTIONAL SATISFACTION (KANO METHOD)

Annotation. This paper describes a method for studying product characteristics based on comparative assessments - the Kano method. The main attention is paid to the groups of characteristics that are used in the Kano method. The methodology for solving the analytical problem of the Kano method is briefly presented. It is shown that this method can be used to assess the emotional reaction of consumers to individual product characteristics.

Keywords: Kano method, emotions, emotional satisfaction, attractive characteristics, reverse action characteristics, undesirable characteristics, questionnaires, system analysis

Введение

В 1984 году японским профессором Нориаки Кано была предложена теория, которая позволяет оценить отдельные характеристики продукта с точки зрения эмоциональной реакции потребителя на них [1, 2]. Результаты [3, 4], полученные при помощи этого метода, позволяют сделать выводы о актуальности совокупности характеристик, обеспечивающих повышение привлекательности продукта у потребителя в будущем, что является основной задачей маркетинговых мероприятий в условиях цифровой трансформации промышленности и роста инновационного потенциала [5, 6].

Вопросам эмоционального восприятия окружающего мира посвящено большое число исследований. Достаточно полная классификация эмоций представлена в работе [7]. В работе [8] основное внимание уделялось анализу психологии эмоций и формированию мотивационных аспектов. Роли эмоций в профессиональной жизни человека посвящена работа [9, 10]. Виды эмоционального реагирования и структура эмоционального явления подробно проанализированы в работе [11]. Одной из важных задач современности является задача автоматизированного детектирования эмоций [12-16], в том числе и для решения задач создания "компьютерной личности" [17-19]. При этом одной из значимых проблем детектирования эмоций является учет возможных когнитивных искажений [20]. Все это делает актуальным создание эффективных цифровых инструментов для анализа характеристик продукта с точки зрения эмоциональной удовлетворённости потребителя.

Графическое представление метода Кано представлено на рисунке 1, нумерацией представлены группы характеристик [1-4]:

Необходимые характеристики;

Одномерные характеристики

Привлекательные характеристики

Характеристика обратного действия

Нежелательные характеристики

Ось X описывают характеристику с точки зрения степени сложности функционала: отсутствует, базовая, лучший в категории. Ось Y разделена по интенсивности эмоциональной реакции: неприязнь, неудовлетворение, нейтральность, удовлетворение и восторг.

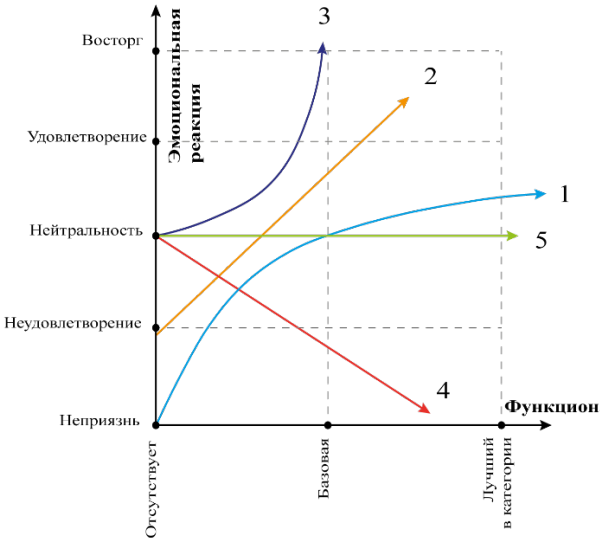


Рисунок 1 – Графическое представление метода Кано

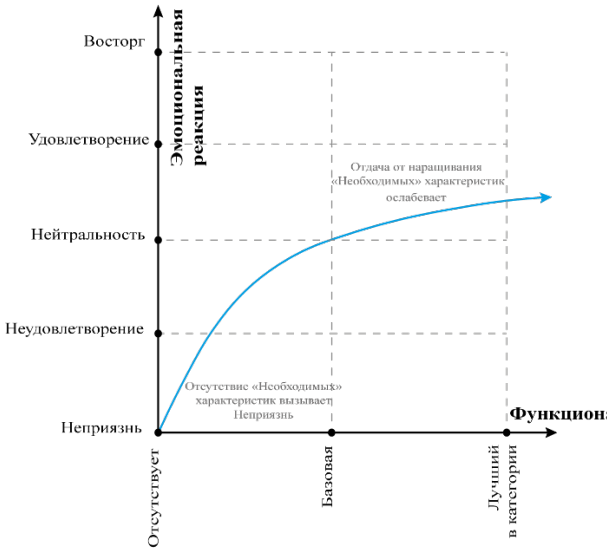


Рисунок 2 – Необходимые характеристики

Проанализируем каждую из групп характеристик в отдельности.

1. Необходимые (обязательные) характеристики

К **необходимым** (обязательным) характеристикам относятся характеристики, без которых потребитель не рассматривает продукт, как конкурентоспособный среди предлагаемых аналогов. Несмотря на это, наличие таковых не вызывает ярко окрашенного эмоционального отклика, потому что подразумевается, что она обязательная для предлагаемого продукта. Соответственно, отсутствие характеристик данного типа вызывает недовольство у пользователя, когда как наличие особых эмоций не вызывает.

Кривая никогда не выходит на положительную сторону удовлетворённости, а улучшение характеристик данного типа не влечёт за собой значительного влияния на увеличение удовлетворённости потребителя.

Примеры: наличие стержня у шариковой ручки, способность наушников воспроизводить звук и др.

2. Одномерные (желательные) характеристики

Одномерные (желательные) характеристики (рисунок 3) товара имеют прямую зависимость относительно удовлетворённости пользователя. То есть чем лучше реализована характеристика, тем выше удовлетворённость, и наоборот — чем ниже, тем хуже.

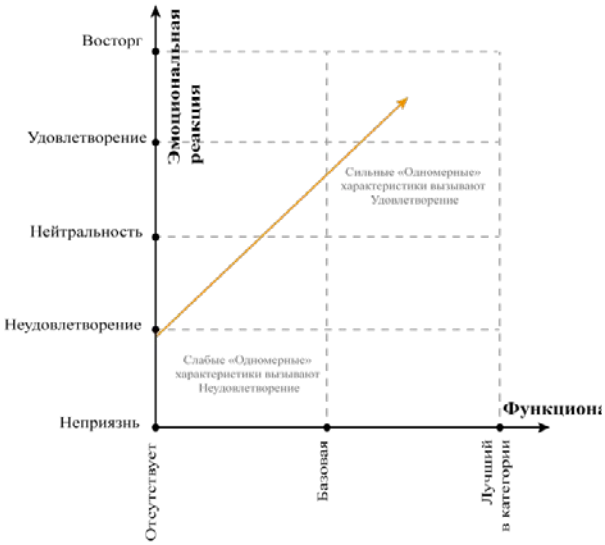


Рисунок 3 – Одномерные характеристики

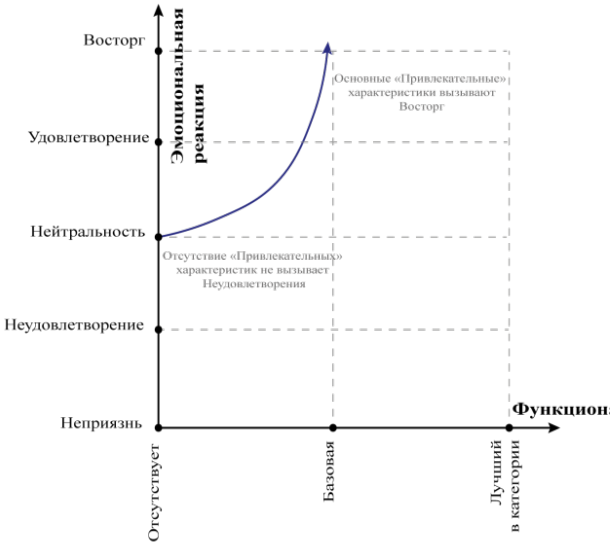


Рисунок 4 – Привлекательные характеристики

Примеры: скорость истрачивания чернил в ручке, управляемость автомобиля и др.

3. Привлекательные характеристики

Привлекательные характеристики (рисунок 4), отсутствие которых никак не влияет на пользователя, когда как наличие очень позитивно сказывается на удовлетворённости. Такой

эффект связан с тем, что потребитель не ожидает наличие подобной характеристики в предлагаемом продукте, и его реакция может отразиться в положительном отзыве. Привлекательная характеристика — «изюминка», которая выделяет продукт среди конкурентов.

Примеры: подарок к покупке чего-либо, появление после обновления программы новой удобной функция.

4. Характеристики обратного действия (нежелательные)

Характеристики обратного действия (нежелательные) (рисунок 5) являются противоположными одномерной характеристике. Данные характеристики снижают удовлетворённость, снижают спрос на продукт. Зависимость обратная: чем лучше реализована характеристика, тем ниже удовлетворённость, и наоборот.



Рисунок 5 – Нежелательные характеристики



Рисунок 6 – Неважные характеристики

Примеры: избыточное количество функций в приложении, высокий расход топлива автомобиля и др.

5. Неважные характеристики

Неважные характеристики мало волнуют или не волнуют потребителя совсем. Влиять на данные характеристики бессмысленно, поскольку это не произведёт никакого эффекта на удовлетворённость потребителя.

Примеры: цвет принтера не влияет на качество печати, тип пластика бутылки из-под воды и др.

5. Методика составления анкеты Кано

Методика составления анкеты Кано состоит из нескольких шагов:

Составляется список характеристик, которые нужно исследовать на предмет отношения к ним потребителя.

Потребителю задаются два вопроса различные по характеру:

Функциональный (Как вы отнесётесь к тому, что товар будет обладать такой характеристикой?)

Дисфункциональный (Как вы отнесётесь к тому, что такой характеристики не будет у товара?)

Ответы на эти вопросы предлагаются в пяти вариантах:

нравится (это мне очень поможет);

я ожидаю это (мне хотелось бы/это для меня базовое требование);

мне все равно (для меня это не имеет значения/на меня это не повлияет);

могу с этим смириться (мне это не нравится, но я это спокойно переживу);

не нравится (мне это не нравится, и я не могу это принять/это будет для меня серьезной проблемой).

Ответы на вопросы заносятся в бланки для дальнейшей работы с полученными данными.

Обработка результатов анкетирования.

Таким образом после обработки результатов будут получены таблицы для каждой из характеристик, которые были выделены в пункте 1 данного раздела.

Для дальнейшего анализа характеристик необходимо ознакомиться с таблицей интерпретаций (см. табл. 1).

Свойства матрицы:

M (Must-be) — отсутствие характеристики хотя бы у части товара может привести к неудовлетворённости потребителя;

P (Performance) — прямая зависимость удовлетворённости от наличия характеристики у товара;

A (Attractive) — не ожидаемые характеристики, но значительно повышающие удовлетворённость потребителя при наличии;

Стандартная таблица модели Кано Таблица 1

Функциональный вопрос	Дисфункциональный вопрос				
	нравится	так должно быть	безразлично	могу с этим смириться	не нравится
нравится	Q	A	A	A	P
так должно быть	R	I	I	I	M
безразлично	R	I	I	I	M
могу с этим смириться	R	I	I	I	M
не нравится	R	R	R	R	Q

I (Indifferent) — характеристики, безразличные покупателю;

R (Reverse) — характеристики, которые потребитель не хочет видеть в продукте;

Q (Questionable) — случай, когда и на функциональный, и на дисфункциональный вопросы был дан одинаковый ответ.

Рассмотрим подробнее методику обсчёта анкет Кано с помощью потенциалов удовлетворённости и неудовлетворённости.

Алгоритм расчёта включает:

Работа с анкетой Кано.

В таблице 2 представлен пример сбора данных для характеристики 1 из n всего характеристик (см. таблицу 2), где m - это количество респондентов.

Стандартная таблица модели Кано Таблица 2

Характеристика качества	Респондент	Ответ на функциональный вопрос	Ответ на дисфункциональный вопрос
1	1	нравится	так должно быть
1	2	безразлично	не нравится
1	…	…	…
1	m	нравится	могу с этим смириться

Первичная обработка результатов.

Результаты, полученные с помощью опроса потребителей, сводим в таблицу, где пять строчек представляют собой пять возможных ответов на вопрос, сформулированный положительно по показателям удовлетворенности, а пять колонок — это пять возможных ответов на вопрос, сформулированный отрицательно.

В зависимости от ответов заказчиков потребности помещаются в одну из 25 ячеек таблицы. То есть каждый ответ имеет координаты - [ответ на функциональный вопрос; ответ на дисфункциональный вопрос]. Вносим все данные по каждому свойству, нормируем на общее количество ответов (количество ответов в ячейке делится на общее количество ответов/респондентов), и мы получаем частоту в процентах для дальнейшей обработки.

В ходе проведения анализа заполняются промежуточные таблицы, в которых необходимо заполнить проценты респондентов, которые давали соответствующие оценки функциональной и дисфункциональной характеристикам конкретного свойства. В качестве примера представлена таблица для характеристики 1 из n возможных функций (см. таблицу 3).

Таблица модели Кано при сборе данных после анкетирования по характеристике 1 Таблица 3

Функциональная характеристика	Дисфункциональная характеристика				
	нравится	так должно быть	безразлично	могу с этим смириться	не нравится
нравится	0	0	8%	17%	0
так должно быть	0	0	0	8%	M
безразлично	8%	0	25%	0	0
могу с этим смириться	0	0	0	0	0
не нравится	8%	0	0	0	0

Группировка по типам и заполнение частотной таблицы.

Для дальнейшей группировки необходимо в соответствии с таблицей интерпретации (см. таблицу 1) заполнить частотную таблицу 3 по характеристикам. В таблице 1 показано, какие ячейки соответствуют привлекательным, необходимым, одномерным, вызывающим обратную реакцию и не имеющим значение потребностям. По каждой характеристике необходимо суммировать проценты ответов, используя матрицу интерпретации, и внести результат по характеристике в колонку типа, сформулированного Кано (см. таблицу 4).

Если в каком-то свойстве у нас преобладают ответы типа R. Для учета таких ответов будем рассматривать ее наоборот: отсутствие этой характеристики как положительное свойство, а наличие - как отрицательное. То есть таблицу с ответами по этой характеристике меняем - "зеркалим" по диагонали: ответы на функциональный (положительный) вопрос отмечаем по столбцам, а на дисфункциональный (отрицательный) - по строчкам. Тогда все R-

ответы перейдут в ответы, участвующие в расчетах.Если в зону R попадает всего 1-2 ответа, то ничего не меняем, просто не берем их в расчет и все.

Частотная таблица для фиксации частот характеристик *Таблица 4*

№ характеристики	Привлекательная, %	Одномерная, %	Необходимая, %	Не имеет значения, %	Обратного действия, %	Нежелательная, %
Название характеристики № 1	25	33	8	34		
Название характеристики № 2	17	33	25	25		
…	….	…	…	…	…	…
Название характеристики № n	17		25	50	8	

Расчет потенциалов удовлетворенности и неудовлетворенности

Формируем таблицу координат характеристик для карты. На основе частоты отнесения каждой из характеристик к той или иной категории рассчитывают коэффициенты удовлетворенности и неудовлетворенности для каждой из характеристик по формулам:

$K_У = \frac{A+P}{A+P+M+I} \cdot 100$ [%], $K_{НУ} = \frac{P+M}{A+P+M+I} \cdot (-100)$ [%],

или

$K_У = \frac{A+P}{A+P+M+I}$ [доли], $K_{НУ} = -\frac{P+M}{A+P+M+I}$ [доли],

где $К_У$ - коэффициент удовлетворенности, а $К_{НУ}$ - коэффициент неудовлетворенности. «Минус» не имеет математического значения, он показывает отрицательные свойства коэффициента. Пример сопоставления характеристик с коэффициентами удовлетворённости и неудовлетворённости представлен в таблице 5.

Коэффициенты удовлетворённости и неудовлетворённости для характеристик 1-n Таблица 5

	Удовлетворённость, %	**Неудовлетворённость, %**
Название характеристики № 1	**44,0**	**-41,0**
Название характеристики № 2	**39,8**	**-58,0**
…	**…**	**…**
Название характеристики № n	**20,5**	**-59,0**

Построение карты удовлетворенности и неудовлетворенности потребителей (см. рис. 7).Все свойства распределяем в 4 кластера и отображаем на карте (для % границы y(0;100) x(0;-100); для долей y(0;1) x(0;-1)).

левый верхний квадрат (Attractive):не ожидаемые характеристики, но значительно повышающие удовлетворённость потребителя при наличии.

правый верхний квадрант (Performance): одномерные - прямая зависимость удовлетворённости от наличия характеристики у товара;

левый нижний квадрат (Indifferent): все равно (сюда относятся те характеристики, которые пользователь совершенно не воспринимает – что они есть, что их нет).

правый нижний угол (Must-be):характеристики, которые обязаны быть несмотря ни на что. Другими словами, если этих свойств не будет – пользователи в принципе не будут пользоваться этим товаром.

Коэффициенты удовлетворенности/неудовлетворенности представляют собой числовое выражение того, насколько покупательская удовлетворенность/неудовлетворенность изменится, если рассматриваемая характеристика будет присутствовать/отсутствовать.

Издержки коэффициентов: при интерпретации ответов по матрице интерпретации 25 вариантов ответов сводится к 6 категориям характеристик, из которых в конечном итоге для каждой характеристики выбирается всего одна основная. Утрата информации приводит к значительным погрешностям и равновесности всех ответов независимо от их силы.

Заключение

Метод Кано позволяет выявить основные потребности и предпочтения потребителей, классифицируя их важность и влияние на уровень эмоциональной удовлетворённости. Одним из достоинств метода является его способность выявлять скрытые потребности потребителей и предсказывать их ожидания от продукта. Кроме того, он позволяет проводить сравнительный анализ различных характеристик продукта и определить, какие из них являются ключевыми для удовлетворения потребителей.

К недостаткам метода относится необходимость тщательной подготовки анкет и анализа результатов, что является достаточно трудоёмким процессом. Кроме того, интерпретация результатов метода Кано может быть неоднозначной и требовать дополнительных исследований для точного понимания потребностей потребителей.

В целом, метод анализа характеристик продукта с использованием метода Кано является эффективным инструментом для повышения удовлетворённости потребителей и улучшения качества продукции.

Отдельные результаты получены в рамках Государственного задания по проекту FSFN-2024-0027

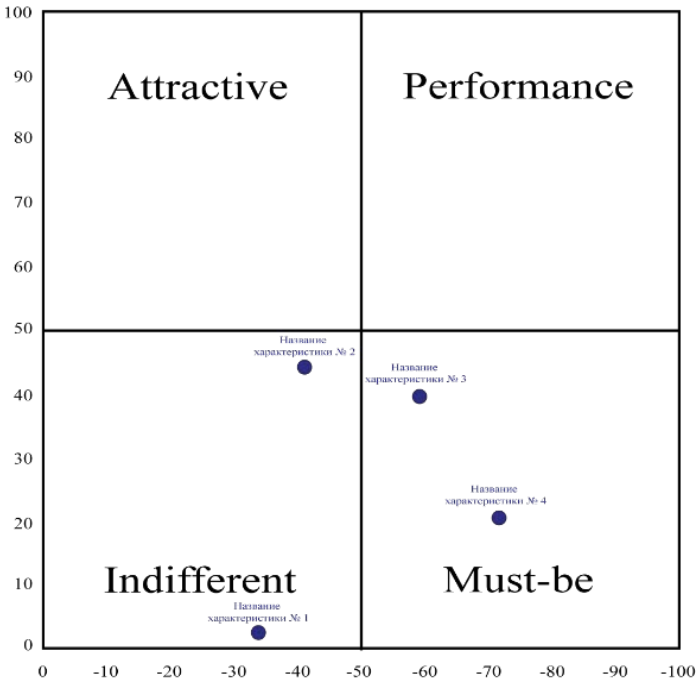


Рисунок 6 – Карта удовлетворённости и неудовлетворённости потребителя для характеристик 1-4

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kano’s Methods for Understanding Customer-defined Quality. Center for Quality of Management Journal. Vol.2, Number 4. Fall 1993 — 37 p.

2. Kano Noriaki, NobuhikuSeraku, Fumio Takahash, Shinichi Tsuji. Attractive quality and must-be quality // Journa l of the Japanese Society for Quality Control. 1984. №14(2). p.27-33.

3. Абакумова И. В. Исследование удовлетворенности потребителей с использованием метода Кано // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Гуманитарные науки. 2021. С.42-48.

4. Мороз А.Ю. Применение методов управления качеством для разработки стандартов: модель Кано // Качество и жизнь. 2023. №1(37). С.10-13.

5. Тимошкин А.Г., Власов А.И. О Стратегии и тактике маркетинговой политики многопрофильной компьютерной фирмы // Приборы и системы управления. 1996. № 9. С. 59-61.

6. Toomsalu L., Tolmacheva S., Vlasov A., Chernova V. Determinants of innovations in small and medium enterprises: a european and international experience // Terra Economicus. 2019. Т. 17. № 2. С. 112-123.

7. Леонтьев В.О. Классификация эмоций. - Одесса: Инновационно-ипотечный центр. 2002. 84 с.

8. Митина Г.В., Нугаева А.Н., Шурухина Г.А. Психология эмоций и мотивации. Уфа: БГПУ. 2020. 110 с.

9. Осипов Ф.М. Значение эмоций в профессиональной жизни человека // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2023. Т. 2. С. 354-356.

10. Vlasov A.I., Berdyugina O.N., Krivoshein A.I. Technological platform for innovative social infrastructure development on basis of smart machines and principles of internet of things // Proceedings - 2018 Global Smart Industry Conference, GloSIC 2018. 2018. N. 8570062.

11. Осипов Ф.М. Виды эмоционального реагирования и структура эмоционального явления // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2020. Т. 2. С. 223-225.

12. Ян С. Автоматическое распознавание эмоций пользователя для организации интеллектуального интерфейса // Молодежный научно-технический вестник 2013. № 9. С. 32.

13. Абдулаев А.Б., Власов А.И., Фатхутдинов Т.М. Автоматизированная нейросетевая система анализа эмоционального состояния человека-оператора // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2023. Т. 25. № 2. С. 41-57.

14. Власов А.И., Ларионов И.Т., Орехов А.Н., Тетик Л.В. Система автоматического распознавания эмоционального состояния человека // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2021. Т. 23. № 5. С. 33-50.

15. Фатхутдинов Т.М. Метрики для оценки качества распознавания эмоционального состояния человека -оператора // Современные технологии научного приборостроения и информационно-измерительных систем. Труды Международной научно-технической конференции. Москва, 2023. С. 89-90.

16. Власов А.И., Фатхутдинов Т.М. Методы оценки качества распознавания эмоционального состояния человека - оператора // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2023. Т. 1. С. 131-137.

17. Орехов А.Н. Решение нестандартных задач компьютерной системой // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2021. Т. 23. № 3. С. 43-62.

18. Власов А.И., Орехов А.Н., Тетик Л.В. Вероятностные и семантические испытания компьютерной системы, решающей нестандартные задачи // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2023. Т. 25. № 1. С. 31-45.

19. Власов А.И., Орехов А.Н., Тетик Л.В. Информационные испытания компьютерной личности, решающей нестандартную физическую задачу // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2024. Т. 26. № 1. С. 32-44.

20. Кожаринов А.С., Кириченко Ю.А., Афанасьев И.В., Власов А.И., Лабуз Н.П. Методы анализа когнитивных искажений и концепция автоматизированной интеллектуальной системы их детектирования // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2022. Т. 24. № 4. С. 38-74.

УДК 519.24

Кузьмина[1] Н.В., Соловьев[2] В.А.

[1,2] Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

[1] kuzminanv@student.bmstu.ru

[2] volodimer@bmstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОДИНАМИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

Аннотация. В работе исследуются аспекты технической и технологической реализации биодинамического освещения и его воздействия на человека. Уделяют особое внимание сложности внедрения этой концепции, анализируя технические и инженерные аспекты, направленные на создание оптимальных условий освещения. В работе представлены результаты глубокого анализа влияния биодинамического освещения на физиологические и психологические аспекты человеческого организма. Целью исследования является не только выявление технических деталей данной концепции, но и понимание их роли в формировании благоприятного воздействия на человека. Акцент делается на истории развития тенденции к биодинамическому освещению, рассмотрении вариантов реализации и обзоре областей применения данного инновационного подхода. Работа представляет ценный вклад в область исследования освещения, углубляя понимание технологических аспектов и их влияния на жизнь и здоровье человека.

Ключевые слова: биодинамическое освещение, циркадные ритмы, светодиодное освещение, биодинамическая среда, светотехника

Kuzmina[1] N.V., Soloviev[2] V.A.

[1,2] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

[1] kuzminanv@student.bmstu.ru

[2] volodimer@bmstu.ru

RESEARCH ON THE IMPACT OF BIODYNAMIC LIGHTING ON HUMANS

Annotation. This study explores the technical and technological aspects of implementing biodynamic lighting and its effects on individuals. Special attention is given to the challenges associated with the integration of this concept, analyzing the technical and engineering aspects aimed at creating optimal lighting conditions. The paper presents the results of a profound analysis of the influence of biodynamic lighting on physiological and psychological aspects of the human body. The research aims not only to uncover the technical intricacies of this concept but also to comprehend their role in shaping a favorable impact on individuals. Emphasis is placed on the historical development of the trend toward biodynamic lighting, exploring implementation options, and surveying the application areas of this innovative approach. The study contributes significantly to the field of lighting research, deepening the understanding of technological aspects and their influence on life and human health.

Keywords: biodynamic lighting, circadian rhythms, LED lighting, biodynamic environment, lighting technology

Введение

Работа посвящена исследованию влияния биодинамического освещения на физиологические и психологические аспекты человеческого организма, анализу технологических решений, обеспечивающих освещение, способное воссоздать естественный световой цикл в течение дня. С ростом понимания важности условий окружающей среды для общего благополучия, освещение становится объектом усиленного внимания. Биодинамическое освещение, в свою очередь, представляет собой новаторскую концепцию, нацеленную на создание оптимальных условий освещения, симулирующих изменения естественного света в течение дня.

Объектом исследованияявляется биодинамическое освещение как технологическое решение, нацеленное на создание близких к естественным световым условиям внутри помещений, а также основные принципы и механизмы реализацииданной концепции. В данной статье особое внимание уделяется аспектам технических и технологических решений, связанных с реализацией биодинамического освещения. При этом осуществляется детальный анализ воздействия такого освещения на человека, что позволяет глубже понять и оценить влияние данного технического решения на комфорт и благополучие человека.

Предметом исследования служит рассмотрение различных аспектов биодинамического освещения, таких как цветовая температура, динамичность света, яркость, а также их влияние на физиологические и психологические процессы в организме человека. Одной из ключевых задач исследования является выявлениеосновных параметров, формирующих эффективность даннойконцепции и влияющих на состояние человека. Целью исследования является детальный анализ, как технические инновации, такие как динамичные системы освещения и светодиодные технологии, взаимодействуют с физиологическим и психологическим состоянием человека.

Целью работы является выявление воздействия биодинамического освещения на разнообразные аспекты человеческого благополучия, определение ключевых характеристик технического подхода и их вклад в создание оптимальных условий освещения.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания оптимальных условий для жизни и работы в современных городских средах. Понимание влияния биодинамического освещения может привести к разработке эффективных стратегий оптимизации освещения в различных контекстах, улучшая тем самым качество жизни человека. В эпоху стремительного технологического развития, понимание технических аспектов биодинамического освещения представляет собой важную стратегическую задачу. Стоит отметить необходимость более глубокого понимания не только сущности биодинамического освещения, но и инженерных решений, обеспечивающих его реализацию.

Развитие интереса к биодинамическому освещению коренится в стремлении воссоздать естественныйсветовой цикл, который оказывает значительное влияние на биологические ритмы организма. Эта тенденция находит свои корни в исследованиях циркадных ритмов и влияния световой стимуляции на здоровье человека.Начиная с ранних научных работ и заканчивая современными технологическими решениями, эта тенденция отражает стремление создать условия, соответствующие естественным световым циклам.Анализ предыдущих исследований и инженерных подходов позволяет углубленно понять, как технические инновации способствовали формированию данной концепции.

Биодинамическое освещение находит применение в различных сферах, от домашней обстановки до офисных пространств и общественных мест. Освещение, симулирующее изменения в естественном свете, может стать ключевым элементом для создания комфортных и поддерживающих условий в различных окружениях.

В рамках исследования мы рассмотрим различные варианты реализации биодинамического освещения, включая технологии, такие как светодиодные, галогенные и люминесцентные источники света. Каждый из этих вариантов предоставляет уникальные возможности для создания оптимальных условий освещения, поддерживающих человеческое благополучие.

Таким образом, представленное исследование не только стремится расширить наше понимание влияния биодинамического освещения на человека, но и предоставить конкретные научные данные и практические рекомендации для улучшения условий освещения в различных средах и контекстах использования.

1. Обзор литературы

Более ста лет назад началась эпоха массового использования электрического освещения. Развитие технического прогресса в области светотехники привело к появлению разнообразных источников света с различными механизмами генерации светового излучения. Однако искусственное освещение неспособно обеспечить комфортные условия освещения, а также негативно сказывается на работоспособности и биологических процессах человека [1]. Таким образом, возникает необходимость в улучшении механизмов генерации света, и наблюдается постоянный рост интереса к системам биодинамического освещения.

Несмотря на обширные функциональные возможности, высокие затраты и техническая сложность этих систем становятся их недостатком, что делает такие системы освещениямалопривлекательными в ближайшем будущем. Однако с постепенным снижением стоимости и усовершенствованием источников света и систем управления они могут стать первым шагом к формированию биодинамической среды [2]. В перспективе такие системы могут стать востребованными в условиях неблагоприятной окружающей среды, таких как космос, полярные регионы, подводные и подземные условия.

В настоящее время одним из перспективных и инновационных направлений в области светотехники и автоматизации является разработка интеллектуальных систем освещения. Эти системы предоставляют возможность не только контролировать, но и оптимизировать как качественные, так и количественные параметры излучения [3]. Используя передовые технологии и алгоритмы, интеллектуальные системы освещения способны автоматически адаптироваться к различным условиям окружающей среды, учитывая потребности пользователей и обеспечивая эффективное использование энергии.

Такие интеллектуальные системы могут включать в себя датчики, сенсоры и алгоритмы машинного обучения, позволяя им реагировать на изменения освещения в реальном времени и оптимизировать его в соответствии с заданными параметрами. Это не только способствует комфорту пользователей, но также обеспечивает повышенную эффективность энергопотребления, снижая негативное воздействие на окружающую среду [4].

Данные интеллектуальные системы освещения представляют собой значимый шаг вперёд в области современных технологий, внедряя умные и адаптивные решения для улучшения качества освещения и оптимизации энергопотребления.

Для анализа влияния биодинамического освещения на человека необходимо установить и определить нормы освещения в жилом помещении, так как в ходе работы

будут рассмотрены технические решения реализации биодинамического освещения в помещении. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений жилых зданий, используемый в ходе исследования установлены согласно СанПиН2 2.2.1-2.1.1.1278.03 [5].

В ходе работы проведен анализ ряда зарубежных исследований в сфере умных систем управления освещением, что позволило выявить значительный потенциал в сокращении энергопотребления и оптимизации использования электроэнергии. В работе [6] авторы предлагают инновационное решение, основанное на использовании беспроводных сенсорных сетей для управления освещением в домах. Экспериментальные исследования, проведенные авторами, демонстрируют, что при использовании интеллектуального управления, энергопотребление в дни с переменной освещенностью, такие как солнечные или пасмурные дни, может быть снижено на 40%.

Другое исследование [7], предоставляет результаты мониторинга четырех офисов в Корее. Целью исследования было выявление влияния режима занятости и особенностей использования осветительных систем на энергопотребление. Результаты показывают, что применение автоматического регулирования яркости освещения до 500 Лк в офисных помещениях может привести к снижению энергопотребления освещения на удивительные 43%.

Эти исследования подчеркивают важность внедрения интеллектуальных систем управления освещением, основанных на новаторских технологиях, для повышения энергоэффективности и снижения воздействия на окружающую среду.

2. Методы и модели

Для выполнения исследования были использованы различные методы анализа и обработки информации, включая логический и сравнительный анализ, систематизацию, сравнение и обобщение. Ключевым элементом методологии стало информационно-аналитическое исследование научных статей, описанных ранее, а также изучение патентной документации.

В целях выявления тенденций и трендов в развитии умных и интеллектуальных систем освещения, а также светотехнических устройств, был проведен обширный патентный поиск в открытых патентных базах данных по теме нашего исследования. Патент [8] содержит описание осветительного устройства, включающего твердотельные элементы и программно-вычислительный модуль. Этот патент раскрывает инновационные решения в области конфигурации осветительных устройств.

Другой патент [9] описывает систему управления осветительными единицами, объединяющую их в единое целое. Этот патент демонстрирует интегрированный подход к управлению световыми системами и может предоставить полезные рекомендации для разработки современных умных осветительных систем.

Патент [10] представляет собой документ, описывающий светильники, системы и методы, способные согласовывать световое воздействие с циркадными ритмами человека. Этот патент представляет важный вклад в разработку технологии, направленной на оптимизацию воздействия освещения на физиологические процессы человеческого организма.

В качестве обоснования необходимости интеграции интеллектуальных систем освещения с технологией биодинамического освещения в контексте данной работы рассмотрим пример исследования, проведенного Энергетическим университетом в Казани. В рамках этого исследования в течение месяца изучалось воздействие биодинамической системы освещения на состояние человека. Результаты показали, что во время эксперимента скорость выполнения задач у студентов увеличилась на 20%, а количество ошибок снизилось на 15% [11]. Эти выводы подчеркивают положительное воздействие биодинамической системы освещения на производительность и общее благополучие.

Еще одним исследованием, определяющим необходимость развития биодинамических систем освещения, является статья, описывающая внедрение в одной из школ в Швеции системы "Human Centric Lighting" [12]. В результате внедрения данной системы у обучающихся произошло снижение усталости, улучшение зрительной нагрузки и повышение концентрации внимания. Этот пример подчеркивает эффективность использования технологий освещения, адаптированных к человеческим потребностям, в образовательных учреждениях.

Таким образом, наша методология исследования включала в себя не только анализ научных публикаций, но и изучение патентной информации, что обеспечило комплексный взгляд на современные тенденции и инновации в области умных световых технологий.

3. Решение проблем биодинамического освещения

Целью данного исследования является глубокий анализ технических решений, реализованных в системах биодинамического освещения, и исследование их воздействия на человека. Основной упор будет сделан на выявление ключевых технических

параметров и функциональных характеристик, которые определяют эффективность биодинамического освещения в контексте человеческого благополучия и производительности. Ключевые задачи исследования включают в себя:

1. Анализ технических решений:

изучение существующих технических решений в области биодинамического освещения,

оценка разнообразных световых и цветовых спектров, реализуемых в современных системах.

2. Оценка технической эффективности:

исследование эффективности систем биодинамического освещения в смысле энергопотребления и стабильности работы,

анализ возможностей программного управления и автоматизации в контексте настройки освещения под циркадные ритмы человека.

3. Изучение влияния на пользователя:

идентификация воздействия биодинамического освещения на психофизиологические показатели человека,

анализ влияния различных цветовых температур и интенсивности света на эмоциональное состояние, работоспособность и концентрацию.

4. Сравнительный анализ:

Сравнение технических решений различных производителей систем биодинамического освещения,

выявление преимуществ и ограничений конкретных технических решений.

5. Рекомендации по применению:

формулирование рекомендаций по эффективному внедрению и использованию биодинамического освещения в помещениях.

Полученные в результате исследования данные позволят более глубоко понять влияние технических характеристик систем биодинамического освещения на человека и предоставят основу для разработки рекомендаций по их оптимальному применению в повседневной жизни.

Биодинамическое освещение представляет собой инновационную технологию, ориентированную на согласование светового воздействия с циркадными ритмами человека. Системы биодинамического освещения стремятся создать оптимальные условия освещения, которые соответствуют физиологическим и психологическим потребностям человека в различные периоды суток.

Циркадные ритмы представляют собой биологические процессы, связанные с естественными изменениями окружающей среды в течение 24 часов. Эти ритмы регулируют бодрствование и сон, уровень энергии и множество других физиологических функций. Биодинамическое освещение стремится создать световую среду, эмулирующую эти циркадные ритмы, чтобы оптимизировать воздействие света на организм человека.

Технические аспекты биодинамического освещения включают в себя использование специальных источников света с переменной цветовой температурой и интенсивностью. Например, светильники, оснащенные светодиодами, способны создавать различные оттенки света, эмулируя естественные изменения освещенности в течение дня. Такие системы также могут быть интегрированы с сенсорами, алгоритмами управления и системами автоматизации для динамической регулировки параметров света в реальном времени.

Спектральная модуляция представляет собой еще один ключевой аспект биодинамического освещения. Использование спектральных характеристик света, например, различных длин волн, позволяет создавать световые условия, близкие к естественному солнечному свету. Этот аспект важен для поддержания баланса между "теплым" светом с высокой цветовой температурой в утренние часы и "холодным" светом с низкой цветовой температурой вечером.

Психофизиологическое воздействие биодинамического освещения является центральным моментом в его концепции. Свет, согласованный с биологическими ритмами, может оказывать положительное влияние на настроение, энергетический уровень и когнитивные функции человека. Исследования, описанные в [10], освещают технический базис для понимания механизмов этого воздействия.

Таким образом, биодинамическое освещение представляет собой глубокий синтез технических решений, основанных на принципах циркадных ритмов и спектральной модуляции, с целью создания благоприятной световой среды для человека. Эта технология предоставляет перспективный путь в направлении оптимизации воздействия света на наш организм в повседневной жизни.

4. Обсуждение влияния биодинамического освещения на человека

В последние десятилетия все больше внимания уделяется вопросам воздействия света на физиологическое и психологическое состояние человека. Биодинамическое освещение, как инновационная область светотехники, привлекает внимание

исследователей в связи с его потенциальными психофизиологическими выгодами. Вопросы влияния освещенности на психоэмоциональное состояние человека-оператора в условиях воздействия дистабилизирующих факторов рассмотрено подробно в работах [12-18].

Циркадные ритмы и освещение. Циркадные ритмы человека тесно связаны с естественными изменениями света в течение дня и ночи. Экспозиция биодинамического света, имитирующего естественные фотометрические характеристики солнечного света, может синхронизировать циркадные ритмы, поддерживая бодрствование днем и спокойный сон ночью. Это особенно важно в условиях современного образа жизни, когда многие люди проводят большую часть дня в закрытых помещениях.

Воздействие на работоспособность и эмоциональное состояние. Ряд исследований подтверждает, что биодинамическое освещение может оказывать положительное воздействие на работоспособность и эмоциональное состояние. Исследование, проведенное в Энергетическом университете в Казани [11], выявило, что участники испытаний при использовании биодинамического освещения демонстрировали увеличение скорости выполнения задач на 20% и уменьшение количества ошибок на 15%. Эти результаты подчеркивают потенциальное улучшение производительности и снижение уровня стресса при использовании таких световых систем.

Снижение утомляемости и повышение концентрации. В одной из школ в Швеции, где впервые была внедрена система "Human Centric Lighting" [12], отмечено снижение утомляемости у обучающихся, улучшение зрительной нагрузки и повышение концентрации внимания. Эти результаты согласуются с представлением о том, что биодинамическое освещение, эмулируя естественные условия света, может способствовать поддержанию бодрствования и внимания.

Психосоматические эффекты. Некоторые исследования указывают на психосоматические эффекты биодинамического освещения, такие как улучшение сна, регуляция эмоционального состояния и даже влияние на сердечно-сосудистую систему. Эти аспекты требуют дополнительного глубокого изучения, но они подчеркивают многогранность влияния биодинамического освещения на человека.

Специфика технических параметров. В работе [10] представлен технический анализ систем биодинамического освещения, подчеркивая значение спектральной и пространственной модуляции. Эти параметры играют важную роль в формировании эффективного воздействия света на человека и, таким образом, являются ключевыми для понимания психофизиологических реакций.

Основанные на данных исследованиях подчеркивают не только техническую составляющую биодинамического освещения, но и его потенциал в воздействии на различные аспекты жизнедеятельности человека. Однако, несмотря на полученные положительные результаты, требуется дополнительное научное исследование для полного понимания механизмов и определения оптимальных параметров для различных контекстов использования.

5. Анализ технических решений в контексте влияния биодинамического освещения на человека

В основе биодинамического освещения лежат инновационные технические решения, нацеленные на создание световых условий, оптимально соответствующих физиологическим и психологическим потребностям человека. Этот раздел направлен на глубокий анализ ключевых технических параметров и инженерных решений, ориентированных на воздействие биодинамического освещения на человека.

Одним из ключевых технических аспектов биодинамического освещения является его способность изменять спектральные характеристики света в соответствии с циркадными ритмами. На рисунке 1 представлены типы источников освещения в помещении.



Рисунок 1 – Типы источников в помещении

Наилучший уровень освещенности в помещении зависит от его функционального назначения и требований к визуальному комфорту. Общие рекомендации по уровню освещенности для различных помещений [5] приведены в таблице 1.

Общие рекомендации по уровню освещенности для различных помещений — Таблица 1

	Минимальный уровень освещенности	Предпочтительный уровень освещенности	Типы источников освещения
Жилые помещения	150 лк	300-500 лк	Светодиодные лампы, галогенные лампы
Офисные помещения	300 лк	500-1000 лк	Светодиодные лампы, люминесцентные лампы
Образовательные заведения	300 лк	500-750 лк	Светодиодные лампы, люминесцентные лампы
Медицинские учреждения	500 лк	750-1000 лк	Светодиодные лампы, газоразрядные лампы
Промышленные помещения	300 лк	500-750 лк	Светодиодные лампы, газоразрядные лампы

Учитывая эти рекомендации, каждый тип источника света обеспечивает разный уровень освещенности. Например, светодиодные лампы, благодаря высокой светоотдаче, эффективно справляются с обеспечением необходимого уровня люксов в различных помещениях. Газоразрядные лампы также хороши для обеспечения яркого света в промышленных и медицинских учреждениях. Люминесцентные и галогенные лампы могут использоваться там, где требуется мягкое и равномерное освещение.

Анализ типов источников освещения в контексте внедрения в систему биодинамического освещения представлен в таблице 2.

Анализ типов источников освещения в контексте внедрения в систему биодинамического освещения — Таблица 2

	Световой поток	Температура цвета	Спектральный состав	Применение для реализации биодинамического освещения
Галогенные	Обеспечивают яркое и естественное освещение	Близка к естественному свету, около 2800-3200 K	Широкий спектр, хорошая цветопередача	Могут использоваться, но ограничены в динамическом изменении цветовой температуры и спектральной модуляции
Люминесцентные	Эффективны, но менее яркие по сравнению с галогенными	Разнообразна, от теплого до холодного света	Ограниченный спектр, несколько менее естественный	Могут быть использованы, но не обеспечивают такое широкое динамическое изменение параметров света
Светодиодные	Эффективные и яркие, с высокой энергоэффективностью	Может быть настроена в широком диапазоне, включая теплый и холодный свет	Легко поддаются спектральной модуляции	Идеальны для биодинамического освещения из-за высокой гибкости в настройке цветовой температуры и спектрального состава
Газоразрядные	Обеспечивают яркий свет с богатым спектром	Близка к естественному свету, около 5500-6500 K	Широкий спектр, хорошая цветопередача	Подходят из-за близости к дневному свету, но ограничены в возможности регулировки

Именно применение светодиодов (LED) позволяет достичь широкой гаммы цветовой температуры, эмулируя от "теплого" света с высокой цветовой температурой в утренние часы до "холодного" света с низкой цветовой температурой вечером (рис. 2). Такая спектральная модуляция воздействует на секрецию мелатонина, регулируя биологический ритм человека и оказывая позитивное воздействие на качество сна.

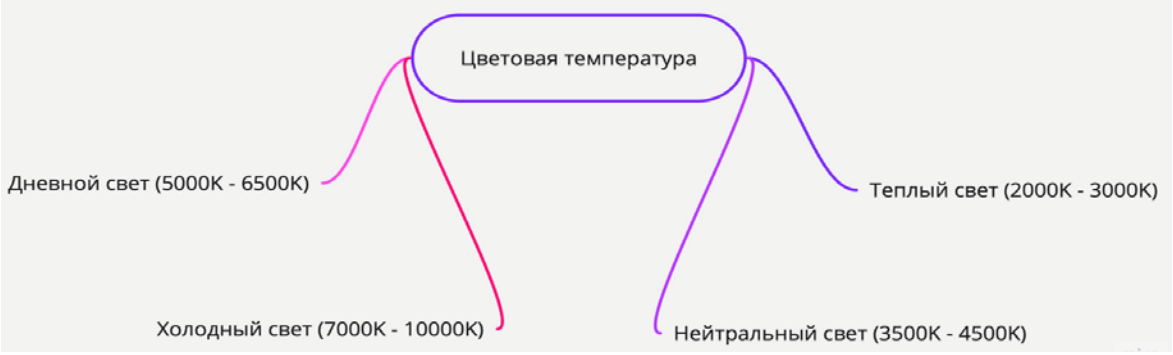


Рисунок 2 – Цветовая температура

Технические решения биодинамического освещения часто включают в себя системы автоматизации и динамического управления. Использование сенсоров для определения уровня естественного света, присутствия человека или времени суток позволяет адаптировать параметры освещения в реальном времени [19]. Это обеспечивает постоянное соответствие светового окружения изменяющимся потребностям человека и поддерживает биологическую синхронизацию. Современные системы биодинамического освещения оснащены программными модулями с функциями машинного обучения [20], которые позволяют настраивать параметры света в соответствии с индивидуальными предпочтениями и потребностями пользователя. Персонализация светового режима может учитывать такие факторы, как возраст, биоритмы, здоровье и даже конкретные задачи, повышая эффективность воздействия на человека.

Технические решения биодинамического освещения часто взаимодействуют с другими технологическими системами. Интеграция с умными домашними системами, звуковыми технологиями и системами контроля температуры позволяет создать комплексное и гармоничное окружение, учитывающее множество факторов воздействия на человека [21-23]. Технические решения также включают в себя эргономический дизайн, способствующий комфортному восприятию светового окружения. Учет геометрии светильников, их расположение и интенсивность освещения являются существенными аспектами, обеспечивающими эффективность и удовлетворение пользователя.

Проведенный анализ подчеркивает важность инженерных инноваций для создания светового окружения, способствующего улучшению физического и эмоционального благополучия человека. Эти технические аспекты играют критическую роль в преобразовании концепции биодинамического освещения в реальность, обогащая повседневную жизнь человека.

Заключение

В контексте биодинамического освещения и его технических решений, важным аспектом является анализ эффективности и перспектив данной технологии. Технические параметры, такие как спектральная модуляция, динамическое управление и персонализация, создают основу для позитивного воздействия света на физиологию и психологию человека.

Одним из заметных преимуществ биодинамического освещения является его способность к персонализации. Технические решения, позволяющие настраивать параметры света с учетом индивидуальных потребностей, открывают путь для создания оптимальных условий в различных сценариях использования. Это особенно важно в современном мире, где каждый человек имеет уникальные ритмы жизни и предпочтения.

Также необходимо отметить взаимодействие биодинамического освещения с другими технологическими системами. Интеграция с умными домашними устройствами, такими как системы безопасности и автоматизации, улучшает общую пользовательскую эффективность и комфорт. Это сближение технологий важно для создания гармоничного и эффективного светового окружения.

Влияние биодинамического освещения подчеркивают также результаты исследований и научные данные, связанные с воздействием биодинамического освещения на человека. Эмпирические данные, представленные в работах и патентах, подтверждают положительное влияние на эмоциональное состояние, работоспособность и качество сна, а тенденции технического прогресса и возможные направления развития биодинамического освещения сделают биодинамическое освещение более доступным и востребованным в будущем.

В данной статье рассмотрена проблематика биодинамического освещения и его воздействия на человека. Основное внимание уделено техническим аспектам данной области светотехники.

Анализ технических решений, представленный в работе, подтверждает, что биодинамическое освещение не только технически осуществимо, но и предоставляет значительные преимущества для физиологического и эмоционального благополучия человека. Персонализация, адаптация к циркадным ритмам и интеграция с умными системами дома открывают перспективы для широкого внедрения в различные области жизни.

Проведен анализ технических решений, представленных в патентах и научных работах. Спектральная модуляция, динамическое управление, персонализация и другие инженерные инновации подчеркивают техническую составляющую биодинамического освещения. Разработки в

этой области светотехники создают уникальные возможности для создания световых условий, оптимально соответствующих потребностям человека.

Освещен вопрос влияния биодинамического освещения на психофизиологию человека. Анализ результатов исследований подтверждает положительное воздействие на эмоциональное состояние, работоспособность и качество сна. Эти данные предоставляют научное обоснование для внедрения биодинамического освещения в повседневную жизнь.

Следует отметить важность технологического прогресса и будущих направлений в развитии биодинамического освещения. Прогнозируется, что удешевление и усовершенствование технологий сделают биодинамическое освещение более доступным и востребованным в будущем.

Таким образом, результаты данного исследования подчеркивают не только техническую реализуемость биодинамического освещения, но и его потенциальное положительное воздействие на качество жизни человека. Решение поставленных задач включает в себя анализ технических инноваций, выявление перспектив использования и научную обоснованность влияния на психофизиологию человека. Все это делает биодинамическое освещение перспективной областью для будущих исследований, разработок и внедрения в повседневную практику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак, - 2006. - 972 с.
2. Беккер Ю.Л. Перспективы применения систем управления микроклиматом и искусственным освещением в замкнутых изолированных помещениях. / Ю.Л. Беккер, Р.С. Ульянов // Научно-технический вестник Поволжья. - 2014. - № 5. - С. 312-314.
3. Андропова Т.В. Гигиеническая оценка современных источников света. / Т.В. Андропова, Л.П. Волкотруб // Бюллетень сибирской медицины - 2010. - № 5. - С. 155-160.
4. Ульянов Р.С. Концепция системы освещения помещений с автоматическим управлением на базе светодиодов / Р.С. Ульянов, В.А. Завьялов // Молодой учёный - 2013 - №3 -С. 108-111.
5. СанПиН2 2.2.1-2.1.1.1278.03. Гигиенические и санитарные требования к искусственному, естественному и комбинированному освещению жилых/общественных зданий: утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.04.2003: введен 15.06.2003. - Текст: электронный // Техэксперт: информационно-справочная система Консорциум «Кодекс» (дата обращения 16.11.2023).
6. Li M. Design and Implementation of Smart Home Control Systems Based on Wireless Sensor Networks and Power Line Communications // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2015. No 7. P. 4430-4442.
7. Yun G. Effects of Occupancy and Lighting Use Patterns on Lighting Energy Consumption / G. Kim // Energy and Buildings. 2012. No 46. P. 152-158.
8. Патент No W0/2016/079073 Нидерланды. Lighting device, luminaire and lighting device configuration method: N° 076732: заявл. 17.11.2015: опубл. 26.05.2016 / J. Hagelaar; заявитель и патентообладатель PHILIPS LIGHTING HOLDING B.V.
9. Патент Ne WO/2015/025235, Нидерланды. Control of a lighting system: N 063340: заявл. 23.07.2014: опубл. 26.02.2015 / S. Kumar; заявительипатентообладатель PHILIPS LIGHTING HOLDING B. V.
10. Патент No US20180172227, CIA. Luminaires, systems and methods for providing spectrally and spatially modulated illumination: N° 15/833.023: заявл. 06.12.2017: опубл. 21.06.2018 / R. Soler; заявительипатентообладатель Biological Innovation & Optimization Systems, LLC.
11. The study on the effect of color temperature of LED luminaires on human performance and psychoemotional state. URL: https://www.Itcompany.com/media/uploads/2015/10/27/te-research-at-kspeu.PDF (дата обращения 22.11.2023).
12. Karlsson T. Human Centric School Lighting. URL: http://insidelight.se/wp-content/uploads/2018/05/Mast-i-Liusdesign.pdf (дата обращения 23.11.2023).
13. Власов А.И., Конькова А.Ф. Медико-диагностические экспертные системы для оценки адекватности адаптивной реакции организма на воздействие экстремальных факторов // Конверсия. 1995. № 9-10. С. 18-21.
14. Власов А.И., Ларионов И.Т., Орехов А.Н., Тетик Л.В. Система автоматического распознавания эмоционального состояния человека // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2021. Т. 23. № 5. С. 33-50.
15. Кожаринов А.С., Кириченко Ю.А., Афанасьев И.В., Власов А.И., Лабуз Н.П. Методы анализа когнитивных искажений и концепция автоматизированной интеллектуальной системы их детектирования // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2022. Т. 24. № 4. С. 38-74.
16. Абдулаев А.Б., Власов А.И., Фатхутдинов Т.М. Автоматизированная нейросетевая система анализа эмоционального состояния человека-оператора // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2023. Т. 25. № 2. С. 41-57.
17. Власов А.И., Фатхутдинов Т.М. Методы оценки качества распознавания эмоционального состояния человека - оператора // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2023. Т. 1. С. 131-137.
18. Колесников А.П., Надейкина Л.А., Ташпиков В.И. Система обработки видеопотока для повышения качества обслуживания авиапассажиров // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2019. Т. 2. С. 118-120.
19. Нестеров Ю.И., Власов А.И., Першин Б.Н. Виртуальный измерительный комплекс // Датчики и системы. 2000. № 4. С. 12-22.
20. Prudius A.A., Karpunin A.A., Vlasov A.I. Analysis of machine learning methods to improve efficiency of big data processing in Industry 4.0 // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V.1333. N. 032065.
21. Berdyugina O.N., Krivoshein A.I., Vlasov A.I. Technological platform for innovative social infrastructure development on basis of smart machines and principles of internet of things // Proceedings - 2018 Global Smart Industry Conference, GloSIC 2018. 2018. N. 8570062.
22. Власов А.И., Григорьев П.В., Кривошеин А.И. Модель предиктивного обслуживания оборудования с применением беспроводных сенсорных сетей // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 2 (22). С. 26-35.
23. Adamova A., Selivanov K., Vlasov A. Development of smart grid technologies: organizational and communication aspects // E3S Web of Conferences. TRESP. 2021. N8001.

УДК 629.7.05

Бодин[1] О.Н., Безбородова[2] О.Е., Едемский[3] М.В., Мишина[4] К.Д., Мартынов[5] Д.В., Трофимов[6] А.А.

[1,5] Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия
[2,3,4,6] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1] bodin_o@inbox.ru
[2] oxana243@yandex.ru
[3] misha.f.2015@mail.ru
[4] kristina_mishina_1998@mail.ru
[5] dimka.martinov.95@gmail.com
[6] alex.t1978@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ СЕРДЦА НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. Статья посвящена особенностям повышения качества диагностики состояния сердца на основе современных технологий. Проведён анализ проблем повышения качества диагностики состояния сердца. Рассмотрена трёхуровневая система оказания медицинской помощи (поликлиника – стационар - клиника) и применение процессного подхода с использованием медико-экономических групп, передовых цифровых технологий и информационных систем в медицинской деятельности. Обоснована необходимость повышения эффективности оказания диагностической помощи на первом уровне. Для повышения качества диагностики состояния сердца на догоспитальном этапе предложено в рамках процессного подхода применение цифрового двойника сердца пациента, обеспечивающего получение электрофизиологических характеристик сердца, доступных только при клинических обследованиях с использованием высокотехнологичного оборудования. При этом получение электрофизиологических характеристик сердца пациента осуществляется с помощью современных информационных технологий: мультиагентности и интеллектуальности. Результаты работы могут быть использованы при реализации приоритетного проекта «Создание новой модели медицинской организации, оказывающей первичную медико-санитарную помощь».

Ключевые слова: новая модель медицинской организации, процессный подход, качество диагностики состояния сердца, цифровой двойник сердца

Bodin[1] O.N., Bezborodova[2] O.E., Edemsky[3] M.V., Mishina[4] K.D., Martynov[5] D.V., Trofimov[6] A.A.

[1,5] Penza State Technological University, Penza, Russia
[2,3,4,6] Penza State University, Penza, Russia
[1] bodin_o@inbox.ru
[2] oxana243@yandex.ru
[3] misha.f.2015@mail.ru
[4] kristina_mishina_1998@mail.ru
[5] dimka.martinov.95@gmail.com
[6] alex.t1978@mail.ru

IMPROVING THE QUALITY OF DIAGNOSIS OF HEART CONDITION BASED ON MODERN TECHNOLOGIES

Annotation. The article is devoted to the peculiarities of improving the quality of diagnosis of heart condition based on modern technologies. The analysis of the problems of improving the quality of diagnosis of the heart condition is carried out. A three-level system of medical care (polyclinic-inpatient-clinic) and the application of a process approach using medical and economic groups, advanced digital technologies and information systems in medical activities are considered. The necessity of improving the effectiveness of diagnostic care at the first level is substantiated. To improve the quality of diagnosis of the heart condition at the prehospital stage, it is proposed, within the framework of a process approach, to use a digital double of the patient's heart, which provides electrophysiological characteristics of the heart, available only during clinical examinations using high-tech equipment. At the same time, the electrophysiological characteristics of the patient's heart are obtained using modern information technologies: multiagency and intelligence. The results of the work can be used in the implementation of the priority project "Creation of a new model of a medical organization providing primary health care".

Keywords: new model of medical organization, process approach, quality of diagnosis of heart condition, digital double of the heart

Введение. Информационные технологии (ИТ) с успехом применяются в различных областях современной медицины. Современные технологические решения в состоянии обеспечить свободный доступ к службам здравоохранения вне зависимости от места проживания пациента, значительно повысить эффективность и доступность высокотехнологичных медицинских услуг и достоверно оценить функциональное состояние организма пациента.

Согласно рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), качество медицинской помощи определяется содержанием взаимодействия врача и пациента, основанном на квалификации врача, минимальном риске для пациента, оптимальном использовании ресурсов и удовлетворенности пациента от взаимодействия с системой здравоохранения [1].

Текущее состояние развития здравоохранения в России характеризуется полномасштабным внедрением в практику медицинских учреждений информационных систем, охватывающим практически все функциональные направления, включая управление ресурсами и лечебным процессом. Экс-министр здравоохранения России В. И. Скворцова, выступая на первом заседании Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и приоритетным проектам, отметила,

что одним из ключевых направлений, определяющих развитие здравоохранения, является переход от инфраструктурной информатизации к широкому применению цифровых технологий.

По словам заместителя председателя Комитета Совета Федерации по социальной политике Л. В. Козловой в первую очередь необходимо развивать первичное звено здравоохранения, поскольку ранняя диагностика не только снизит число осложненных случаев, но и позволит оптимизировать распределение финансовых средств на высокотехнологичную медицинскую помощь.

В настоящее время в соответствии со Стратегией структурно-организационной реформы здравоохранения РФ, рекомендациями ВОЗ ведется работа по переходу на систему поэтапного оказания медицинской помощи (МП) [1]. Традиционная двухуровневая система оказания медицинской помощи (поликлиника – стационар) постепенно переходит на рекомендованную ВОЗ трехуровневую.

Первый уровень МП – включает первичную медико-санитарную медицинскую помощь в условиях амбулаторно-поликлинических медицинских организациях (МО) с набором оборудования, технологий и методик, обеспечивающих лечебно-диагностический процесс при наиболее часто встречающихся заболеваниях.

Второй уровень МП – включает специализированную медицинскую помощь, которая предоставляется в стационарных условиях.

Третий уровень МП – включает высокотехнологичную медицинскую помощь [1].

Рассматривая вопрос о качестве диагностического исследования системно, необходимо выделить три основных компонента качества:

адекватность, как показатель соответствия фактически оказанной медицинской диагностической услуги современным технологиям, потребностям и ожиданиям населения;

экономичность, как показатель эффективности использованных средств;

научно-технический уровень, как показатель применения современных достижений в области медицинских знаний и технологий.

В федеральном проекте «Цифровое здравоохранение» [2] предусматривается технология «цифровых двойников», осуществляющая моделирование тела, систем и органов человека, и отображающая его физическое состояние, сформированное не только по данным из датчиков с тела, но и из словесного описания физического состояния. Миссия «цифровых двойников» в области медицины – сделать лечение для каждого человека индивидуализированным, научиться предсказывать те или иные заболевания, а также давать рекомендации по стилю жизни для их предотвращения.

Процессный подход сегодня стал основополагающей базой управления современной организацией, в том числе медицинской, поскольку практика подтверждает оптимальность реализации принимаемых на его основе управленческих решений. Внедрение процессного подхода позволяет повысить производительность и качество ряда медицинских процессов без увеличения материальных затрат.

1 Постановка проблемы. Современная медицинская диагностика востребована на всех этапах лечебно-диагностического процесса, начиная с раннего выявления заболеваний и отклонений в состоянии здоровья, обеспечения контроля лечебного процесса путём динамического мониторинга диагностических показателей и заканчивая исследованиями с целью профилактики. При обоснованном применении отдельных методов и алгоритмов диагностики заболеваний значительно расширяются возможности повышения эффективности и результативности лечебного процесса [3].

С точки зрения процессного подхода основными проблемами диагностической службы, которые остаются до настоящего времени недостаточно решенными, являются:

избыточное или ненужное назначение исследований (даже при исполнении их с наилучшим качеством);

малоэффективные решения и действия медицинских работников;

неравенство (низкая доступность) в использовании услуг населением из групп риска;

низкая эффективность ранней диагностики, активного выявления патологии и профилактики осложнений;

недостаточный уровень подготовленности руководителей подразделений и медицинских учреждений в целом по вопросам управления диагностическими подразделениями в современных условиях.

В РФ за последние десятилетия отмечается существенное сокращение численности диагностических подразделений МО, оказывающих помощь на догоспитальном этапе.

Низкая результативность первого уровня привела к переносу значительной части диагностических задач на работу стационара.

Необходимо повысить методический уровень диагностического процесса и его качество, обеспечить население доступной диагностической помощью, особенно на догоспитальном этапе.

Необходимость постоянного совершенствования диагностических служб признана во всем мире, что выражается преимущественно во внедрении инновационных медицинских технологий и повышении качества исследований.

Целью статьи является анализ методов управления качеством диагностики состояния сердца и разработка практических рекомендаций по её совершенствованию на основе современных технологий.

2 Материалы и методы. По мнению авторов, тематику недостаточно решенных проблем, приведённых в предыдущем параграфе, можно отнести к разделам: «Качество медицинской помощи», «Диагностика состояния сердца», «Современные информационные технологии».

Рассмотрим особенности каждого раздела.

Качество медицинской помощи. Законом определено, что качество медицинской помощи - это совокупность характеристик, отражающих своевременность оказания медпомощи, правильность выбора методов профилактики, диагностики и лечения, степень достижения запланированного результата. [3]. Также законом установлено такое новое понятие, как контроль качества и безопасности медицинской деятельности. Появилось три уровня ответственности: государства (государственный контроль), собственников медицинских организаций (ведомственный контроль) и самой медицинской организации (внутренний контроль).

Автор процессного подхода У. Э. Деминг разработал и предложил программу по повышению качества труда, которая базируется на три прагматичных аксиомах [4]:

любая деятельность может рассматриваться, как технологический процесс, а значит, может быть улучшена;

для эффективной работы нужны фундаментальные изменения в процессе жизненного цикла (ЖЦ) изделия, в нашем случае ЖЦ медицинской организации (ЖЦМО);

высшее руководство предприятия должно принимать на себя ответственность за свою деятельность.

Согласно У. Э. Демингу при реализации отмеченных особенностей процессного подхода в управлении качеством предоставляемых медицинской организацией услуг необходимо соблюдать следующие принципы: ориентация на потребителя; лидерство руководителя при создании и поддержании внутренней среды; вовлечение работников в процесс решения задач с выгодой для организации; системный подход к управлению качеством предлагает взаимосвязанное рассмотрение всех явлений как процессов, способствующих достижению цели; принятие решений на фактах, т.е. анализ конкретных данных и информации; взаимовыгодные отношения с партнерами.

Качество медицинской помощи обеспечивается с одной стороны развитием первичной медицинско-санитарной службы, с другой - высокотехнологичными видами медицинской помощи. И тот и другой аспект требует квалифицированных медицинских кадров, принимающих решения на основе научного подхода, эффективных менеджеров медицинских организаций, обеспечивающие экономическую и клиническую эффективность применяемых методов лечения.

Диагностика состояния сердца. В нормальных, амбулаторных и клинических, условиях информационные системы электрокардиодиагностики обеспечивают мониторинг и лечение сердечно-сосудистой системы пациентов. При этом пациенты из группы риска сердечно-сосудистых заболеваний оснащаются портативными кардиоанализаторами.

Анализ электрокардиографической информации при обследовании пациента позволяет своевременно диагностировать заболевания сердца на ранней стадии или предрасположенность к нему подобрать оптимальное лечение и назначить комплекс профилактических мер.

В цифровом здравоохранении широко используются современные информационные технологии: цифровые модели, интеллектуальные агенты и облачные вычисления. При этом особое место в цифровой медицине занимает технология «цифрового двойника» и применение математических методов обработки медицинских данных.

Цифровые двойники – это семейства сложных мульти дисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным объектам, физико-механическим процессам, описываемых 3D нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных, обеспечивающие отличие между результатами виртуальных испытаний и натурных испытаний в пределах ± 5% («цифровой двойник – 1») [2].

Цифровой двойник сердца рассматривается как расширение возможностей врача при обработке кардиографической информации, который призван помочь врачу и не навредить пациенту. Цифровой двойник сердца позволяет заменить прямые измерения в толще миокарда и оценить возможные результаты косвенно по измерениям электрокардиосигнала (ЭКС) на поверхности тела. Идеализированная модель эквивалентного электрического генератора сердца позволяет при помощи обычной микроэлектродной техники получить описание действия совокупности электрических источников в миокарде как плотности точечных дипольных или униполярных источников тока при формировании потенциалов отведений регистрируемого ЭКС.

Современные информационные технологии. Одним из направлений реализации «сквозных» цифровых технологий является федеральный проект «Цифровое здравоохранение» [5]. В этом проекте предусматриваются преобразование здравоохранения за счет внедрения цифровых технологий и платформенных решений. В результате этого планируется получить, разработать и внедрить: платформенные решения телемедицинских консультаций и дистанционного мониторинга состояния здоровья пациентов; интеллектуальные системы поддержки принятия врачебных решений по раннему прогнозированию и выявлению заболеваний, с применением технологий анализа больших данных и машинного обучения; платформы «Умная клиника» с применением комплекса решений *Internet of Things*; платформы хранилищ медицинских данных; централизованные диагностические сервисы; единую систему нормативно-справочной информации и технических стандартов цифрового здравоохранения, интегрированную с МИС и централизованными сервисами; специализированные вертикально интегрированные МИС по основным профилям и направлениям оказания медицинской помощи.

Результаты и обсуждение.

Рассмотрим результаты каждого раздела.

Качество медицинской помощи. При оптимизации оказания кардиологической помощи пациенту авторы использует понятие медико-экономическая группа (МЭГ). Возникновение МЭГ пациента является реакцией системы здравоохранения на социально-политические изменения в современных условиях [6]. МЭГ – это конкретный сегмент рынка здоровья, к которому можно отнести пациента любого социально-экономического слоя общества. На рисунке 1 показано формирование МЭГ с учетом формирование МЭГ с учетом функционального состояния

организма пациента, возможностей медицинского учреждения и системы здравоохранения без мониторинга (А) и с мониторингом (Б).

На рисунке 1 букве А соответствует тяжелая форма заболевания (МЭГ2), букве Б – начальная форма заболевания, выявленная на этапе мониторинга (МЭГ1). Очевидно, что стоимость МЭГ2 больше стоимости МЭГ1. Стоимость МЭГ складывается из стоимости трудозатрат персонала, стоимости медикаментов, расходных материалов, инструментов, износа мягкого инвентаря и расходов на питание больного согласно утвержденным нормам.

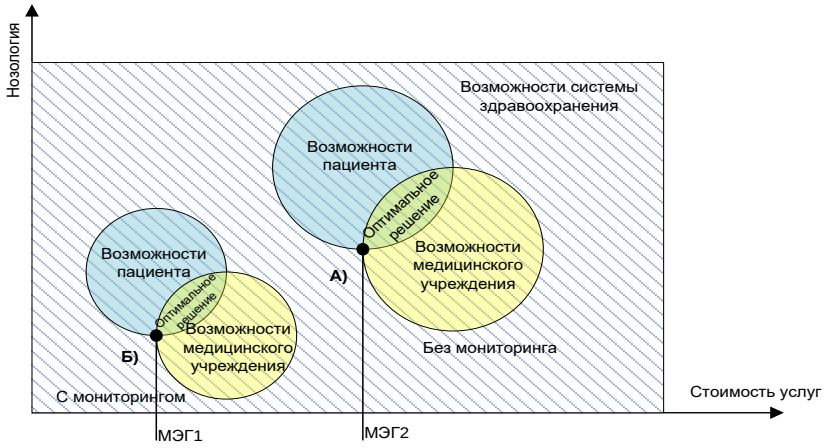


Рисунок 1 – Формирование МЭГ с учетом функционального состояния организма пациента

Важнейшей составляющей стоимости МЭГ является стоимость услуги, которая напрямую зависит от состояния здоровья пациента и проведенных процедурах мониторинга. При ранней стадии заболевания требуются меньшие средства для диагностики и лечения заболевания, несмотря на дополнительные затраты на постановку пациента на учет и проведение процедур мониторинга (закупка оборудования, использование специализированного программного обеспечения и т.д.).

При формировании МЭГ необходимо учитывать соотношение необходимого комплекса услуг для лечения пациента ($Л_п$) возможностям данного медицинского учреждения ($Л_у$).

При этом возможны два варианта:

- медицинское учреждение может оказать необходимый комплекс услуг: $Л_п \in Л_у$;
- медицинское учреждение не может оказать необходимый комплекс услуг $Л_п \notin Л_у$.

Если медицинское учреждение не может оказать необходимый комплекс услуг, то необходимо осуществить взаимодействие с другими медицинскими учреждениями (другими медицинскими информационными системами).

Для исследования МЭГ пациента на рисунке 2 показан процесс формирования МЭГ.

Точка на плоскости с координатами «Жалобы пациента/Нозология» – «Финансовые возможности пациента» определяет состояние пациента (физическое и финансовое), а точка на плоскости с координатами «Жалобы пациента/Нозология» – «Медицинская услуга/Стоимость медицинской услуги» определяет возможности медицинского учреждения.

Для формирования МЭГ необходимо учитывать финансовые возможности пациента ($С_п$) и стоимость услуги ($С_у$), при этом возможны три варианта:

$С_п > С_у$.

$С_п = С_у$.

$С_п < С_у$.

Если $С_п > С_у$ или $С_п = С_у$, то пациент в состоянии оплатить весь комплекс услуг, если $С_п < С_у$, то необходимо финансирование разницы между $С_п$ и $С_у$ за счет средств медицинского учреждения, средств государства или привлеченных инвесторов, иначе пациенту будет предоставлена менее квалифицированная и более дешевая медицинская помощь.

Анализ взаимосвязи финансовых возможностей пациента и возможностей медицинского учреждения показывает, что возможны четыре варианта:

1) Возможности медицинского учреждения и финансовые возможности пациента не позволяют ему пройти курс диагностики и лечения. Пациенту необходимо искать другое медицинское учреждение и финансовые средства для лечения;

2) Медицинское учреждение может оказать необходимый комплекс услуг, финансовые возможности пациента не позволяют ему пройти курс диагностики и лечения. Пациенту необходимо искать финансовые средства для лечения;

3) Возможности медицинского учреждения не позволяют предоставить необходимые процедуры диагностики и лечения, финансовые возможности пациента позволяют ему пройти курс диагностики и лечения. Пациенту необходимо искать другое медицинское учреждение;

4) Оптимальный случай, когда возможности медицинского учреждения и финансовые возможности пациента позволяют ему пройти курс диагностики и лечения.

В рамках медицинского учреждения при формировании МЭГ учитываются возможности пациента. Из анализа условий формирования МЭГ следует, что МЭГ представляет собой логическую операцию конъюнкции жалоб пациента, нозологических форм, возможностей медицинского учреждения и финансовых возможностей пациента: $МЭГ_i$ = *жалобы пациента & нозологические формы & возможности медицинского учреждения & финансовые возможности пациента*, где символ «&» означает логическую операцию конъюнкции.

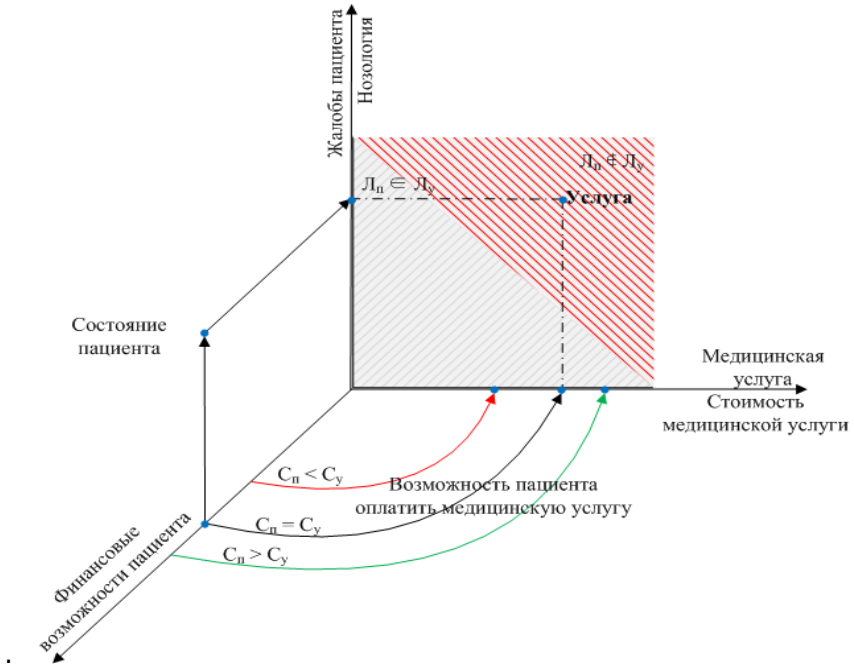


Рисунок 2 - Процесс формирования МЭГ

По мнению авторов, основными путями снижения затрат системы здравоохранения на лечение пациента и снижения затрат самого пациента на лечение являются профилактика и своевременная диагностика.

Качество - это соответствие требованиям заинтересованных сторон. В нашем случае заинтересованными сторонами являются пациент, выступающий в качестве «Заказчика», и диагностическая служба, выступающая в качестве «Исполнителя». Пример процесса пациента при обращении за медицинской услугой представлен на рисунке 3.

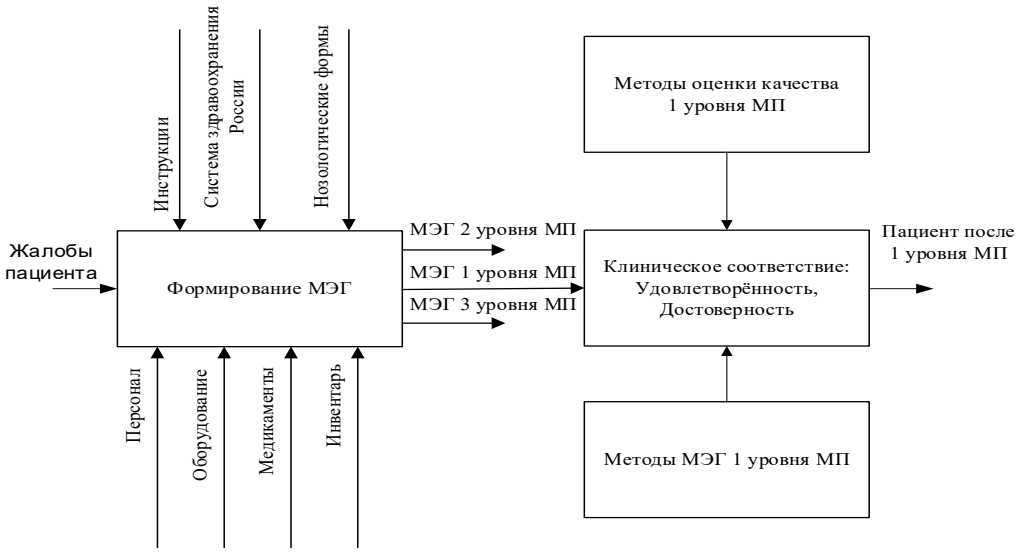


Рисунок 3 - Декомпозиция процесса обеспечения качества диагностических услуг

Процессы пациента определенным образом налагаются на процессы медицинской организации (или наоборот), а последняя, как акцептор финансовых средств пациента (напрямую или через страховую медицину), обязана оптимальным образом выстроить их взаимодействие в интересах потребителя медицинской услуги, т.е. пациента. При этом «Заказчик» должен предоставить данные о необходимом объёме диагностических исследований «Исполнителю», который, с учётом имеющейся ресурсной базы выполняет заказанные исследования, соблюдая необходимые нормы и правила и выдает унифицированную форму заключений с полной доступной информацией о технологиях, методах, использованных в ходе исследований. Во всех формах заключений диагностического обследования рекомендуется фраза «***Заключение не является диагнозом - рекомендуется консультация лечащего врача!***».

Управление качеством - это непрерывный процесс воздействия на оказание медицинской помощи с целью обеспечения качества путём последовательной реализации управленческих функций.

Основной целью системы управления качеством медицинской помощи (медицинских услуг) является обеспечение прав пациентов на получение необходимого объема и надлежащего качества услуг на основе оптимального использования кадровых и материально-технических ресурсов здравоохранения и применения совершенных медицинских технологий, непрерывное повышение их качества и их соответствие требованиям современной медицинской науки и практики.

На рисунке 4 представлена организационно-функциональная модель системы управления качеством медицинской помощи на уровне медицинской организации.

Координация деятельности этой непрерывно функционирующей системы обеспечивается Советом по управлению качеством медицинской помощи и медицинских услуг (далее - Совет по управлению качеством).



Рисунок 4 - Организационно-функциональная модель системы управления качеством медицинской помощи

Председателем Совета по управлению качеством необходимо выдвинуть одного сотрудника из числа высшего руководства медицинской организации (на уровне заместителя главного врача), которому, помимо его основных обязанностей, вменить координацию деятельности системы управления качеством медицинских услуг. Кандидат в руководителя Совета по управлению качеством должен иметь высокий профессиональный уровень, включающий навыки работы с литературой, зарубежными публикациями, владеть компьютером и основами поиска информации в сети Интернет. Следует особо отметить, что он должен иметь широкую клиническую подготовку, без которой невозможно осмысленная адаптация современных принципов управления качеством в медицинской организации.

Состав Совета по управлению качеством должен определяться достаточно тщательно. Преимущество следует отдавать тем сотрудникам, кто стремится к активному участию в решении проблем учреждения. В состав Совета включают представителей врачебного и среднего медперсонала.

Наиболее опытные специалисты возглавляют структурные подразделения Совета по управлению качеством. Представляется целесообразным назначить членов Совета по управлению качеством сроком на один год, который может быть последовательно продлен с их согласия и согласия подразделений, которые они представляют.

Основными задачами Совета по управлению качеством являются:

1) Координация работы по практическому внедрению в деятельность медицинской организации принципов всеобщего управления качеством;

2) Организация мероприятий по разработке и внедрению стандартов медицинской помощи и иных нормативных документов в медицинской организации.

3) Осуществление внутреннего контроля и оценки качества медицинской помощи и медицинских услуг;

4) Организация работы по обеспечению качества в соответствии с существующими или потенциальными проблемами в оказании медицинской помощи;

5) Планирование и установление приоритетов при внедрении современных медицинских технологий;

6) Контроль за внутрибольничными инфекциями;

7) Контроль за использованием ресурсов медицинской организации (персонал, оборудование, расходные материалы);

8) Контроль за взаимодействием структурных подразделений медицинской организации с другими субъектами здравоохранения;

9) Контроль за безопасностью пациентов и медицинских работников;

10) Контроль за организацией непрерывного повышения профессионального мастерства специалистов.

11) Рассмотрение обращений пациентов по вопросам качества медицинской помощи.

12) Анализ решений, рекомендаций и действий, предпринятых структурными подразделениями и должностными лицами, вовлеченных в деятельность по обеспечению качества;

13) Ежегодная оценка эффективности программы обеспечения и контроля качества медицинской помощи на уровне медицинской организации.

Структурными подразделениями Совета по управлению качеством, охватывающими все уровни в медицинской организации являются: отдел стандартизации и экспертизы качества медицинских услуг; комиссия по изучению летальных исходов; комиссия экспертизы трудоспособности; комиссия по инфекционному контролю; комиссия по рассмотрению обращений пациентов; центр обучающих ресурсов; междисциплинарные рабочие группы; группы качества в клинических отделениях и вспомогательных подразделениях.

Для проведения внутренней экспертизы в медицинской организации создается служба внутреннего контроля (аудита) и стандартизации. Структура и состав данной службы утверждается руководителем организации в зависимости от объема оказываемых медицинских услуг.

Службой внутреннего контроля проводится текущий анализ организации оказания медицинской помощи, клинической деятельности медицинской организации, выявление фактов нарушения порядка и стандартов оказания медицинской помощи, а также рассмотрение в кратчайшие сроки обращений пациентов, находящихся на лечении.

Создание на уровне медицинской организации комиссии по рассмотрению обращений пациентов обеспечит одно из основных прав пациентов - на подачу жалобы и позволит решать насущные проблемы пациентов по мере их появления на месте и в оптимальные сроки.

Важнейшим фактором, определяющим эффективность медицинской организации, является мониторинг и оценка качества результатов деятельности медицинской организации, организуемые и проводимые собственными силами (самооценка) - как средство выявления и анализа причин недостатков, препятствующих достижению целей, инструмент дальнейшего планирования и реализации улучшений.

По результатам проводимого аудита служба внутреннего контроля вносит руководителю медицинской организации предложения по устранению выявленных причин и условий снижения качества оказываемых медицинских услуг.

Междисциплинарные рабочие группы создаются для осуществления контроля и обеспечения качества по терапевтической помощи; хирургической помощи; анестезиологической и реаниматологической службе; амбулаторной помощи; лабораторно-диагностической и патологоанатомической службе; использования лекарственных средств; переливания крови и экстракорпоральных методов лечения; диетологии; автоматизации и информационной поддержки; ведения медицинской документации; сестринской службы; проблем пациентов; проблем медицинских работников для решения вопросов обучения, защиты прав.

Формирование рабочих групп необходимо осуществлять с учетом основных этапов технологических процессов, которые обеспечивается данной службой. Общее количество членов рабочей группы составляет от 3 до 5 человек. Руководителем рабочей группы рекомендуется назначить сотрудника отдела экспертизы качества медицинской помощи. Членами группы могут быть главные специалисты, руководители отделений и представители среднего медицинского персонала и технического обеспечения.

Группа качества в клинических отделениях и вспомогательных подразделениях представлены их руководителями (заведующие отделениями и старшие медицинские сестры) и ведущими сотрудниками.

Деятельность всех вышеперечисленных структур регламентируется соответствующими решениями Совета по управлению качеством.

Диагностика состояния сердца. По мнению авторов, поливариантные методы анализа кардиографической информации позволят повысить чувствительность и специфичность диагностики ССЗ в системе электрокардиодиагностики (СЭКД) [7].

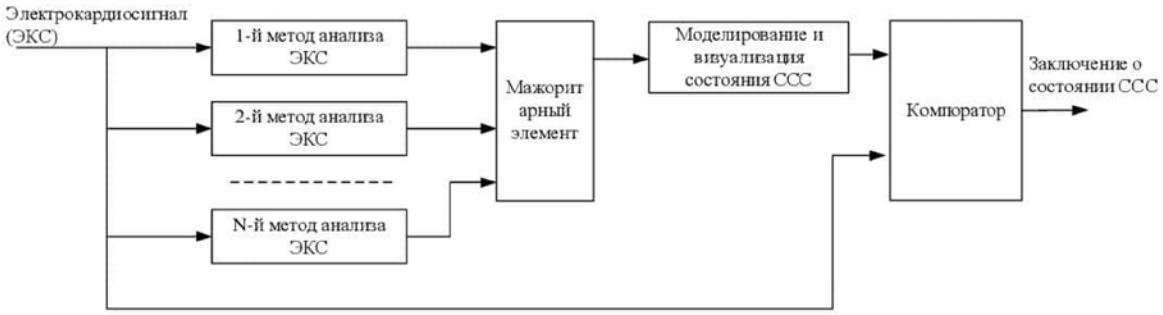


Рисунок 5 - Последовательность действий в СЭКД

Для обоснования предлагаемого подхода необходимо провести расчет функциональной надежности СЭКД, т.е., надежности выполнения заданных функций, и определить, насколько точно СЭКД может выявить наличие заболевания у больного человека (чувствительность) (Ч) и отсутствие его у не имеющего болезни (специфичность) (С). С точки зрения теории надежности [3] в СЭКД повышение вероятности выявления наличия заболевания у больного человека – чувствительности заключается в функциональном дублировании, т.е. одновременном использовании разных методов анализа кардиографической информации. Последовательность операций по обработке электрокардиосигнала (ЭКС) в СЭКД приведена на рисунке 5 и включает:

анализ ЭКС;

моделирование и визуализация состояния сердечно-сосудистой системы (ССС);

синтез модельного ЭКС;

сравнение результатов моделирования с исходной кардиографической информацией;

выдача заключения о состоянии ССС.

Поскольку основным элементом структурной схемы надежности функционирования СЭКД является анализ кардиографической информации, то параллельное использование *разных* методов анализа кардиографической информации повысит вероятность выявления наличия заболевания у больного человека.

Вероятность безотказного состояния устройства, состоящего из n параллельно соединенных элементов, определяется по теореме сложения вероятностей совместных случайных событий как [8]:

$$\boldsymbol{P} = (\boldsymbol{p_1} + \boldsymbol{p_2} + \cdots + \boldsymbol{p_n}) - (\boldsymbol{p_1 p_2} + \boldsymbol{p_1 p_3} + \cdots) - \\ -(\boldsymbol{p_1 p_2 p_3} + \boldsymbol{p_1 p_2 p_n} + \cdots) - \cdots \pm (\boldsymbol{p_1 p_2 p_3 p_n}) \quad (1)$$

Для приведенной структурной схемы надежности функционирования СЭКД (см. рисунок 5), состоящей из трех элементов, выражение (1) можно записать:

$$\boldsymbol{P} = (\boldsymbol{p_1} + \boldsymbol{p_2} + \boldsymbol{p_3}) - (\boldsymbol{p_1 p_2} + \boldsymbol{p_1 p_3} + \boldsymbol{p_2 p_3}) + (\boldsymbol{p_1 p_2 p_3}).$$

Применительно к проблемам надежности, по правилу умножения вероятностей независимых (в совокупности) событий, надежность устройства из n элементов вычисляется по формуле [8]:

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{1} - \prod_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} (\boldsymbol{1} - \boldsymbol{p_i}), \quad (2)$$

т. е., при параллельном соединении независимых (в смысле надежности) элементов их ненадежности ($\boldsymbol{1} - \boldsymbol{p_i} = \boldsymbol{q_i}$) перемножаются.

В частном случае, когда надежности всех элементов одинаковы, формула (2) принимает вид:

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{1} - (\boldsymbol{1} - \boldsymbol{p_i})^{\boldsymbol{n}}, \quad (3)$$

Например, допустим, что для диагностики ССС используются три метода анализа кардиографической информации и что вероятность постановки верного диагноза (чувствительность) методов равна $\boldsymbol{p_1 = p_2 = p_3 = 0{,}6}$. Тогда вероятность определения правильного диагноза в случае совместного использования методов составит $\boldsymbol{P = [1 - (1 - \text{р})^3] = 1 - 0{,}064 = 0{,}936}$.

Современные информационные технологии. Авторами предлагается реализация системы электрокардиодиагностики на основе поливариантных методов анализа кардиографической информации (см. рисунок 6) с использованием современных информационных технологий: мультиагентности, интеллектуальности, моделирования, визуализации и облачности вычислений с соблюдением основного положения электрокардиологического скрининга: помочь врачу, не навредить пациенту. Технология мультиагентности обеспечивает функциональность системы электрокардиологического скрининга; технология интеллектуальности обеспечивает решение различных интеллектуальных задач в условиях скрининга; технологии моделирования и визуализации позволяют получить и наглядно представить на реалистичной модели сердца пациента характеристики электрической активности сердца (ЭАС). На рисунке 6 представлены разработанная структурная схема системы электрокардиодиагностики [9].

Отличительными особенностями структурной схемы скрининговой системы электрокардиодиагностики являются интеллектуальные агенты (ИА) и облачные вычисления. ИА - это аппаратно-программный объект, автономно функционирующий для достижения целей, поставленных передним пользователем и обладающий определенными интеллектуальными способностями. Базовые свойства - автономность и целенаправленность - позволяют отличать ИА от других программно-аппаратных объектов (модулей, подпрограмм, процедур и т. п.).

Облачные технологии - это сервис, обеспечивающий удаленный доступ пользователя к аппаратному и программному обеспечению. Применение облачных технологий (серверов) позволяет снять большую часть вычислительной нагрузки с главного сервера медицинской

информационной системы (МИС) медицинской организации (МО) (см. рисунок 6). Необходимость в таком способе организации работы МИС МО связана с тем, что у пользователя:

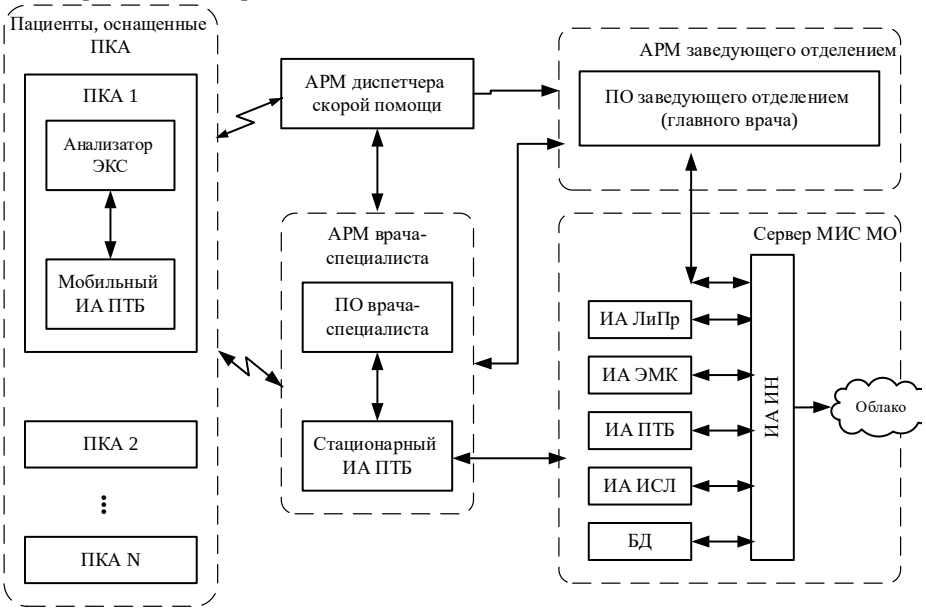


Рисунок 6 – Структурная схема системы электрокардиодиагностики

– отсутствуют в достаточном объеме лицензионные программные и аппаратные средства для решения профессиональных задач, а финансовых ресурсов для их покупки недостаточно или нет места для размещения большого количества аппаратуры;

– отсутствует постоянная потребность в большом количестве вычислительных ресурсов;

– возникает необходимость организации доступа к профессиональной информации для всех сотрудников организации из любого места: имея персональный компьютер или мобильное устройство и доступ в Интернет, можно получить доступ к документам и программному обеспечению вести работу, требующую коллективных усилий.

Работа схемы, представленной на рисунке 6, осуществляется следующим образом. Врач-кардиолог устанавливает пациенту ПКА и, в состоянии покоя и оптимального состояния ССС, регистрирует и фиксирует ЭКС пациента в памяти интеллектуального агента прогноза течения болезни (ИА ПТБ) как стандартный для данного пациента. Этот сигнал в дальнейшем будет считаться ИА ПТБ как эталонный и использоваться для анализа последующих состояний ССС пациента. После чего по каналу связи (*Internet, wi-fi, bluetooth* и пр.) врач-кардиолог подключает ПКА пациента к своему АРМ, оснащенному специальным программным обеспечением. Схема алгоритма обработка ЭКС приведена на рисунке 7 [9].

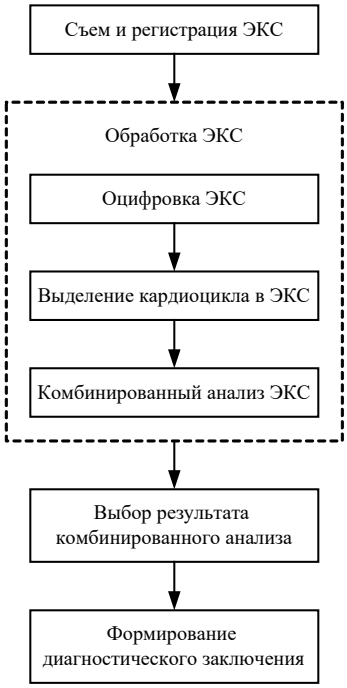
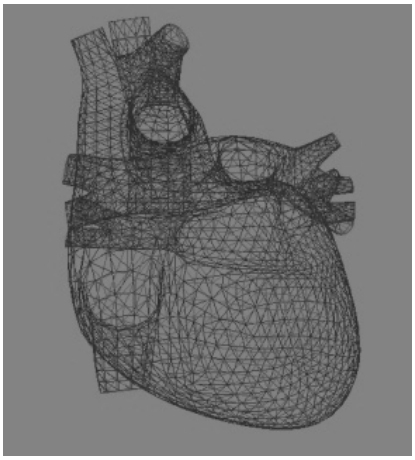
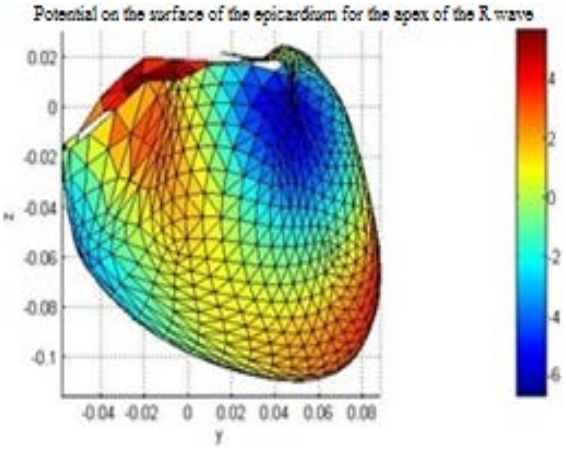


Рисунок 7 – Последовательность операций

Следует отметить, что этап анализа ЭКС (см. рисунок 7) осуществляется средствами АРМ врача-кардиолога, а моделирование и визуализация осуществляется средствами ***Cloud Computing***. На рисунке 8 приведены результаты моделирования и визуализации электрической активности сердца.



а



б

Рисунок 8 - Результаты моделирования
и визуализации электрической активности сердца

Организация специализированных вычислений с использованием облачных сервисов обеспечивает медицинскую информационную систему медицинской организации рядом преимуществ, основными из которых являются отказоустойчивость, доступность, экономичность и эффективность. Облачные вычисления отличаются гибкой масштабируемостью, то есть, неограниченностью вычислительных ресурсов (память, процессор, диски) и позволяют в условиях скрининга достоверно оценить состояние ССС пациента.

Заключение. В результате выполненного исследования авторами получены следующие основные научные результаты:

1. Установлено, что одним из инструментов повышения качества медицинской диагностики может быть использование процессного подхода, так как он позволяет учесть максимальное количество факторов, влияющих на конечный результат – подготовку медицинского заключения о состоянии пациента, повысить гибкость реагирования организации на меняющиеся потребности клиентов; повысить удобство работы с организацией (снижение временных затрат, простота процедур взаимодействия и т.д.).

2. Установлено, что медико-экономические группы (МЭГ) – это конкретный сегмент рынка здоровья, к которому можно отнести пациента любого социально-экономического слоя общества.

3. Показано, что традиционный подход к исследованию различных состояний организма в норме и патологии основывается на анализе набора соответствующих им хорошо очерченных отдельных симптомов, при этом диагностика сегодня сохраняет черты искусства, когда процесс распознавания и трактовки необходимого для принятия решения паттерна признаков зависит от персональных аналитических способностей и опыта врача.

4. Проведен анализ инструментальных методов и средств исследования состояния сердца. Установлено, что наиболее доступным для широких слоев населения является исследование электрической активности сердца с помощью методов электрокардиографии по причине хорошей информативности результатов и невысокой сложности проведения исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Европейская обсерватория по системам и политике здравоохранения и ОЭСР. Улучшение качества медицинской помощи в Европе. Характеристики, результативность и реализация различных стратегий. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ; 2022 г. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

2. Паспорт национального проекта национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7.

3. Билалов Ф. С. Научное обоснование модернизации диагностической помощи населению и формирования трёхуровневой системы ее организации на региональном уровне: Дис. … док. мед. наук: 14.02.03. Уфа, 2018. 322 с.

4. Закон Федеральный Закон от 21.11.2011 №323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации».

5. Э. Деминг. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Out of the Crisis. / – М.: «Альпина Паблишер», 2011. – 400 с.

6. Паспорт национального проекта «Здравоохранение», утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 24 декабря 2018 г. № 16.

7. Медико-экономические группы – объективная реальность современного здравоохранения / С.А. Балахонова, О.Н. Бодин, Ф.К. Рахматулов, А.С. Сергеенков, В.Ю. Тегза // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2016. – №2 (54). – С. 180–184

8. Патент № 2383295 Российская Федерация, A61B 5/00 (2006.01). Способ обработки электрокардиосигнала для диагностики инфаркта миокарда : № 2008135937/14 : заявл. 08.09.2008 : опубл. 10.03.2010 / Бодин О.Н., Зайцева О.А., Логинов Д.С., Моисеев А.Е. – 46 с.

9. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д., Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965, 524с.

10. Способ и система оптимизации лечебно-диагностической медицинской помощи / Бодин О.Н., Безбородова О.Е., Крамм М.Н. // Патент № 2750057 Российская Федерация. Опубл. 21.06.2021, Бюл. № 18

УДК 621.396.98.004.1

Козлов[1] А.И., Затучный[2] Д.А.

[1,2] Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЬДОВ ПРИРОДНЫХ ВОДОЁМОВ

Аннотация. В данной статье была проведена классификация льдов для различных водоёмов. Приведено четыре типа роста льдов и характеристики основных типов роста кристаллов льда. Сформулировано основное правило классификации по принципу возрастающего цифрового индекса. Даны физические характеристики различных типов льда. Приведены типы льдов пресных и морских водоёмов.

Ключевые слова: солевой состав водоёмов, рост кристаллов льда, прилёдный слой воды, прозрачность льда

Kozlov[1] A.I., Zatuchny[2] D.A.

[1,2] Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

CLASSIFICATION OF ICE IN NATURAL RESERVOIRS

Annotation. In this article, the classification of ice for various reservoirs was carried out. Four types of ice growth are given. The characteristics of the main types of ice crystal growth are given. The basic rule of classification based on the principle of an increasing digital index is formulated. The physical characteristics of various types of ice are given. The types of ice in freshwater and marine reservoirs are given.

Keywords: salt composition of reservoirs, growth of ice crystals, ice layer of water, transparency of ice

Введение

Проведение классификации льдов природных водоёмов имеет принципиальное значение при планировании навигации водного транспорта и возможной необходимой посадке летательного аппарата на лёд.

При этом следует учитывать основные условия образования и структурные признаки:

1) солевой состав водоемов, разделение их на пресноводные, распресненные и соленоводные;

2) гидрометеорологический режим водоемов, предшествующий кристаллизации воды, и период нарастания льда (величина и направление температурного градиента, конвективное перемешивание, течения, дрейф, возможности образования внутриводного льда);

3) особенности роста кристаллов льда (проявление закона геометрического отбора, влияние естественного магнитного поля);

4) морфологические характеристики кристаллов (форма роста и размеры кристаллов, степень совершенства граней кристаллов и их ориентировка, характеристика включений);

5) длительность существования ледяного покрова и связанные с ним процессы метаморфического преобразования: термический метаморфизм, связанный с изменением структуры льда под действием избирательного радиационного таяния, повторного замерзания, инфильтрации, фирнизации и т.д., и динамический метаморфизм, связанный с различного рода нарушениями целостности кристаллов в результате полигонизации напряженных кристаллов и катакластических явлений.

Типы роста льдов

Льды природных водоемов по условию ледообразования и солености воды подразделяются на четыре основные группы. К первой группе (группа А) относятся льды, образующиеся в пресных или сильно распресненных ($S_л$ < 2‰) водоемах. Ко второй группе (группа Б) - льды, образующиеся в распресненных водоёмах ($S_л$ = 2÷ 24,7 ‰). К третьей группе (группа В) - морских водоемов ($S_л$ > 24,7‰). К четвертой группе (группа Г) — льды, образующиеся в результате метаморфического преобразования длительно существующего ледяного покрова, подвергшегося термическому и динамическому метаморфизму. Группы льдов делятся на типы роста, которые обозначаются цифровыми индексами (например, А1, А2 и т. д.).

В таблице 1 и на рис.1 даны характеристики основных типов роста кристаллов льда в зависимости от величины и направления температурного градиента на поверхности раздела вода-лед.

Для первого типа роста (рис. 1а) температурный градиент в приледном слое воды составляет 1—4°С/м, изотермическая поверхность фронта кристаллизации соответствует температуре замерзания воды [1,2]. Стесненность роста кристаллов и геометрический отбор приводит к развитию кристаллов по направлению С-оси. При среднем диаметре кристаллов первичного слоя льда 2-3 мм и градиенте температуры

1,5 °С/м полная перестройка в ориентировке происходит на горизонтах 10—15 мм, при градиенте 0,4°С/м, граница перестройки структуры от хаотически ориентированных кристаллов к упорядоченным заканчивается на горизонтах 25— 40 мм.

Характеристика основных типов роста кристаллов льда Таблица 1

Тип роста кристаллов	Температурный градиент	Скорость роста кристаллов	Фронт кристаллизации	Поверхность раздела лёд-вода
Первый	Большой	Малая	Плоский	Гладкая
Второй	Малый	Средняя	Узкая зона	Шероховатая
Третий	Отсутствует или отрицательный	Большая	Широкая зона	Ажурный слой

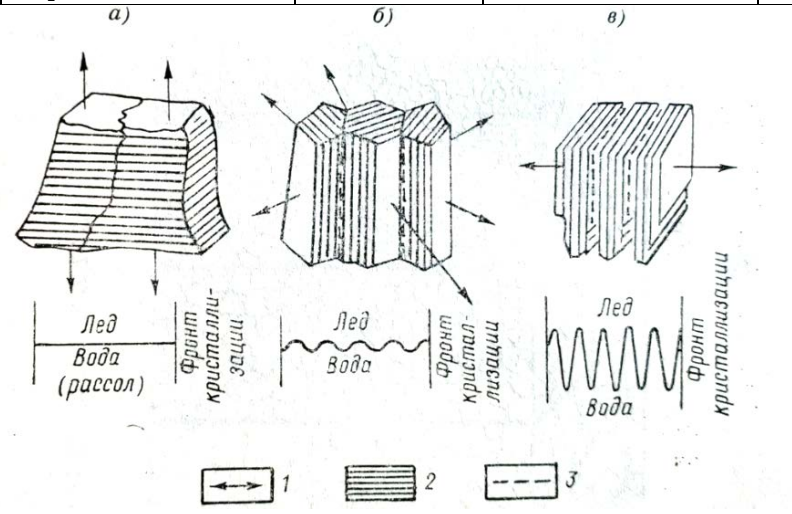


Рисунок 1 - Три типа роста кристаллов

Для второго типа роста (рис. 1б) температурный градиент равен десятым—сотым долям °С/м, а зона фронта кристаллизации узкая [1]. На нижней поверхности льда появляется своеобразная шероховатость, обусловленная неравномерной скоростью роста различно ориентированных кристаллов. В таких условиях обычно формируются кристаллы в виде остроконечных пирамид, призм, шестов, игл. С-оси кристаллов не имеют упорядоченной ориентировки, но иногда их направленность близка к горизонтальной. Это наблюдается обычно на горизонте около 5 см при температурном градиенте 0,01 °С/м.

Третий тип роста (рис. 1в) наблюдается в случае отсутствия температурного градиента в приледном слое воды (часто сопровождается небольшим переохлаждением воды) [2,3]. Для этого типа характерна наибольшая скорость кристаллизации, скелетные кристаллы растут в направлении базисной плоскости. Такие условия в приледном слое создаются только в морских водоемах с хорошо развитым вертикальным перемешиванием, обеспечивающим устойчивое гомогенное состояние приледного слоя воды с температурой, равной температуре замерзания. В морских льдах о размере зоны кристаллизации свидетельствует наличие у его нижней поверхности ажурного слоя [4].

Особенностью построения классификации является то, что типы льда в каждой группе расположены «по возрастающему цифровому индексу, что соответствует увеличению динамичности водоема, нарушению его термического режима, повышению роли внутриводного льда». Общая схема классификации пресноводных и соленых льдов представлена на рис. 2. Здесь же дано схематическое изображение типов льдов в горизонтальной и вертикальной плоскостях, приведены типовые стереограммы оптической ориентировки, геометрические модели кристаллов, использовавшиеся для определения коэффициента извилистости поверхности кристаллов при расчетах поверхности единичного кристалла и суммарной поверхности кристаллов в единице объема [5]. С целью количественного описания текстурных особенностей и прозрачности льда использовалась шкала, представленная в табл. 2. Прозрачность льда оценивалась визуально по степени ослабления света пластинами толщиной 10 см.

Типы льдов пресных водоемов [6]*:*

Al — распространен на небольших озерах, лагунах, небольших не зарегулированных водохранилищах с достаточно большим теплозапасом;

А2 - наиболее широко распространен на больших открытых озерах, водохранилищах, крупных реках после длительного ветрового перемешивания, сопровождающегося значительным теплозапасом;

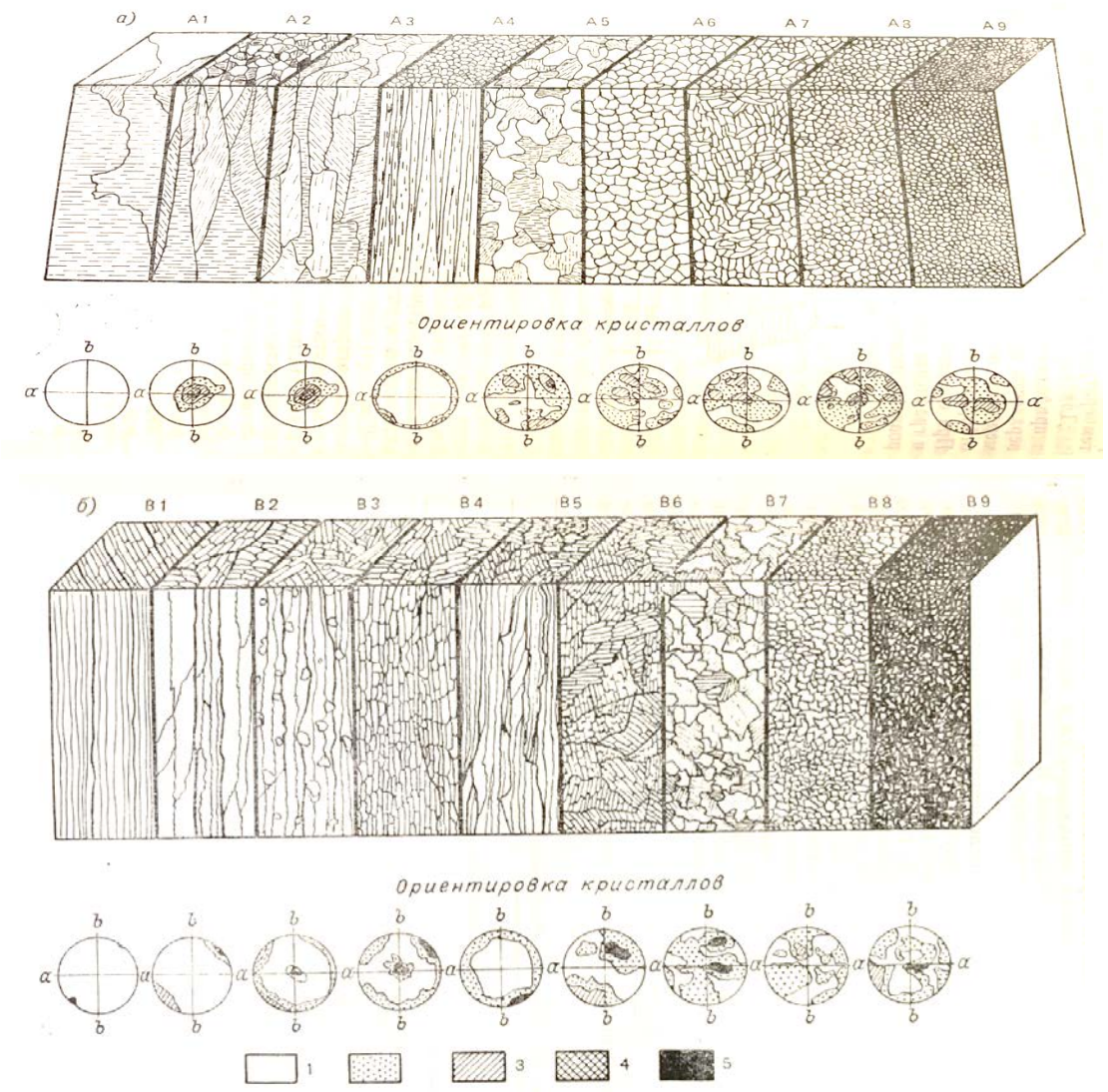


Рисунок 2 - Основные типы пресноводных (а) и морских (б) льдов.

Шкала для визуальной оценки количества включений во льду Таблица 2

№ п/п	Общая характеристика включений	Условные обозначения, баллы
1	Лёд не имеет включений или включения размером более 1 мм единичные, не более 1-10 на дм^2	0
2	Редкие включения, более 10 на 1 дм^2 , не изменяющие общей прозрачности льда; через пластину читается свободно мелкий шрифт	1
3	Небольшое количество включений, свободно различаются только крупные заглавные буквы	2
4	Среднее количество включений, просматриваются силуэты крупных (высотой до 1 см) букв	3
5	Большое количество включений, силуэты крупных букв не просматриваются, различаются только контуры крупных предметов	4
6	Очень большое количество включений, лёд совершенно непрозрачен	5

Типы льдов пресных и морских водоёмов

А3 — образуется на зарегулированных реках, водохранилищах, крупных озерах, для которых характерно ритмичное нарушение температурных условий приледного слоя и где длительное время сохраняются незамерзающие участки воды;

А4 — образуется на всех пресных водоемах, которые к моменту ледообразования теряют весь теплозапас. Такой лед распространен в устьях рек, впадающих в арктические моря, и образуется при замерзании поверхностных распресненных слоев моря при большом накоплении талой воды после летнего таяния морских льдов;

Физические характеристики различных типов льда Таблица 3

Тип льда	Солёность $^0/_{00}$	Число включений во льду по 5-балльной системе	Плотность льда, кг/м^3	Преобладающая ориентировка С-оси	Средние размеры кристалла, мм			Коэффициент извилистости кристаллов
					a	*b*	*c*	
А1	-	0	915-917	Вертикальная	250	250	500	1,70
А2	-	1	910-917	Смешанная	120	120	220	1,55
А3	-	2	900-915	Хаотическая	95	95	95	1,50
А4	-	2	905-917	Горизонтальная	35	35	500	1,20
А5	-	3	880-900	Хаотическая	32	32	45	1,60
А6	-	4	830-900	Хаотическая	8	8	8	1,45
А7	-	4	820-850	Хаотическая	3	3	5	1,10
А8	-	5	810-850	Хаотическая	2,5	2,5	2,5	1,15
А9	-		790-820	Хаотическая	1,5	1,5	1,5	1,30
В1	1,5-4,0	3	910-930	Горизонтальная	0,7	4	100	1,10
В2	1,5-4,0	3	910-930	Горизонтальная	0,6	4	100	1,15
В3	1,6-3,5	3	930-950	Горизонтальная	0,7	4	50	1,25
	1,6-3,5		930-950	Вертикальная	5	5	5	1,10
В4	1,6-3,0	4	900-920	Смешанная	0,6	3	20	1,12
В5	4,0-15,0	3	900-935	Поясная	0,4	3	20	1,10
В6	2,0-5,5	3	890-900	Хаотическая	10	10	15	1,40
В7	2,0-6,0	4	880-900	Хаотическая	7	7	10	1,35
В8	2,0-7,0	5	850-900	Хаотическая	3	3	4	1,25
В9	2,0-14,0	5	830-900	Хаотическая	1,2	1,2	1,2	1,15
Г1	1,4	3	910-915	Реликтовая	10	10	14	1,80
Г2	0,5	2	890-905	Реликтовая (поясная)	1,5	10	200	1,30
Г3	0,1	2	870-900	Хаотическая	12	12	12	1,90
Г4	0,0	3	760-820	Хаотическая	3	3	3	1,25

А5 — условия для образования этого типа льда создаются на зарегулированных реках, водохранилищах, больших озерах со сложным гидрологическим режимом, характеризующимся непрерывным нарушением температурной стратификации;

А6 — образуется в водоемах при устойчивом охлаждении приледного слоя воды до температуры замерзания или небольшом ее переохлаждении, способствующем зарождению новых кристалликов, нарушающих ориентированный рост кристаллов. Такое ледообразование чаще происходит на реках с быстрым течением, где длительное время сохраняются полыньи;

А7 — характерен для глубоководных участков рек с наличием открытых участков воды (полыней). Такой лед образуется из кристаллов внутриводного льда, развивающегося в толще воды;

А8 — образуется при смерзании плотных скоплений шуги и снежуры осенью при интенсивном ветровом перемешивании поверхностных слоев воды, например, на реках с быстрым течением;

А9 — образуется при смерзании снега, пропитанного водой, например, при образовании различного рода наледей.

Структура льдов группы Б пока мало изучена, поэтому дробной типизации пока не имеется.

Льды морских водоемов, относящиеся к группе В, также разделены на девять типов [7]:

В1— образуется в устойчивом слое с хорошо развитой вертикальной конвекцией. Встречается в припае вне зоны распространения материковых стоков речных вод. Этот тип льда имеет четко выраженную пространственную упорядоченность горизонтально расположенных С-осей кристаллических волокон;

В2 —наиболее широко распространен; в основном это обширные поля дрейфующих льдов в Арктике и часть припайных льдов в Антарктике;

В3 —образуется при нарушении стабильного роста кристаллов и интенсивном поступлении к фронту кристаллизации элементов внутриводного льда. Этот тип характерен для дрейфующих и припайных льдов Арктики в зонах интенсивных подвижек и наличия стационарных полыней соответственно;

В4 - мало отличается от типа В3 и встречается там же;

В5 — образуется при интенсивном замерзании морской воды зимой при наличии на поверхности водоема большого количества центров кристаллизации;

В6 — появляется при замерзании морских водоемов с резко меняющимся гидрологическим режимом - большими изменениями скорости и направления течений, резкими колебаниями температуры воды, солености окраинных морей, проливов и районов, прилегающих к устьям рек;

B7 — формируется при сильном ветровом перемешивании мелководных участков моря, сопровождающимися интенсивным образованием шуги из внутриводного и донного льда;

B8 — образуется при смерзании зерен снега с мелкими зернами внутриводного льда в морской воде. Распространен повсеместно в морях, особенно широко в Антарктиде;

B9 — образуется в процессе постепенной инфильтрации морской воды, выступающей на поверхность льда под тяжестью снежно- ледяного покрова.

Заключение

В статье была проведена классификация льдов различных водоёмов.

Получены следующие результаты:

Приведены характеристики основных типов роста кристаллов льда;

Сформулировано основное правило классификации по принципу возрастающего цифрового индекса;

Даны физические характеристики различных типов льда.

Приведены типы льдов пресных и морских водоёмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.Г. Шатраков. Безопасность полетов и направление развития тренажеров специалистов управления воздушным движением. - Издательство Государственного университета аэрокосмического приборостроения.- Санкт-Петербург, 2015 , 516 с.

2. С.Г. Брайкрайц, Д.А. Затучный, Е.М. Ильин, А.И. Полубехин. Методический подход к определению места нетрадиционных методов радиолокации в перспективном радиолокационном применении. - Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, №3 (16), 2017, стр. 72-84.

3. Kozlov A.I., Logvin A.I., Sarychev V.A., Shatrakov Y.G., Zavalishin O.I. Introduction to the Theory of Radiopolarimetric Navigation Systems. - Springer Aerospace Technology, 2020.

4. Козлов А.И., Савиных В.П., Троицкий В.И. Параметрические модели микроволнового излучения земных покровов в навигации летательных аппаратов. – Исследование Земли из космоса, №3, 2021, с. 87-93.

5. Затучный Д.А., Шурыгин М.В. Влияние географических и климатических особенностей северо-западного федерального округа на информационное обеспечение автоматизированных систем обеспечения полётом воздушных судов малой авиации и беспилотных летательных аппаратов. - Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество», г. Пенза, 2022, Том 2, стр. 57-59.

6. Затучный Д.А., Витушкин В.В. Влияние географических и климатических особенностей районов крайнего севера, входящих в состав приволжского и уральского федеральных округов, на информационное обеспечение полётов воздушных судов. - Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество», г. Пенза, 2022, Том 2, стр. 59-62.

7. Рыбаков И.М., Юрков Н.К., Баннов В.Я., Кочегаров И.И., Трусов В.А. Информационно-измерительная система на основе кибернетического модуля дистанционной коммутационной сети. – Труды международного симпозиума «Надёжность и качество»», г. Пенза, 2022, Том 2, стр. 77-80.

УДК 377.354

Михеев[1] М.Ю., Краснов[2] А.А.

[1,2] Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

[1] mix1959@gmail.com

[2] krasnov.aa5801@gmail.com

ПЕРСОНИФИЦИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ СПОРТИВНЫХ ТРЕНИРОВОК. ПОДСИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ

Аннотация. Предложена подсистема планирования спортивных тренировок системы персонифицированного мониторинга состояния спортсмена. Разработано мобильное приложение на облачной платформе Firebase и noSQL и база данных Hive. Определены направления дальнейших разработок и улучшения имеющегося функционала для привлечения новых пользователей.

Ключевые слова: планирование, спортивные тренировки, состояние спортсмена

Mikheev[1] M.Yu., Krasnov[2] A.A.

[1,2] Penza State Technological University, Penza, Russia

[1] mix1959@gmail.com

[2] krasnov.aa5801@gmail.com

PERSONALIZED MONITORING OF SPORTS TRAINING. PLANNING SUBSYSTEM

Annotation. A subsystem for planning sports training for a system of personalized monitoring of an athlete's condition is proposed. Developed a mobile application on the *Firebase* and *noSQL* cloud platform and a Hive database. Directions for further development and improvement of existing functionality to attract new users have been identified.

Keywords: planning, sports training, athlete's condition

Введение. На протяжении последних лет наблюдается рост инетереса спорту и здоровому образу жизни среди пользователей мобильных приложений. Даже во время паденмии когда спортзалы и фитнес-клубы были закрыты, люди продолжали свои занятия спортом в домашних условиях. Сейчас же, когда спортплощадки и места массового скопления люде вновь открыты, люди вернулись к старым форматам тренировок. Однако жизнь уже не будет прежней и развитие дистанционных технологий не стоит на месте. Так многие спортсмены, которые не бросили тренировок, использовали фитнес приложения и теперь не могут представить без них тренировки и некоторые даже предпочитают мобильные фитнес приложения тренировкам с реальным тренером. Разработчики мобильных приложений также видя эту тенденцию стремятся улучшить качество своих приложений и добавить в них новый функционал. Ключевыми факторами в выборе способа тренировок стали возможность тренироваться в любом удобном месте в свободное время и экономия на персональном тренере. Но не стоит забывать и о недостатках данного способа тренировок, одним из них является отсутствие контроля выполнения качества упражнений со стороны тренера.

Фитнес приложения имеют ряд отличий от других категорий, которые стоит учитывать при разработке стратегии оптимизации:

1. Целевые пользователи.

Данные приложения имеет очень широкую и разнообразную целевую аудиторию, как по увлечениям профессиональные спортсмены, спортсмены любители, начинающие, мечтающие похудеть; так и по возрасту молодые спортсмены и пожилые люди.

В этом есть свои плюсы и минусы: из плюсов этой стратегии можно отметить: широкий круг потенциальных пользователей может стать широким кругом пользователей конкретного приложения; из минусов - сложно нацеливаться на аудиторию, когда она имеет столь различные интересы, места обитания (какие каналы продвижения использовать) и цели использования приложения.

2. Каналы взаимодействия с пользователями.

Каналы взаимодействия с пользователями различны между собой, что усложняет подходы к их унификации, но дает возможности для развития приложения в разные направления. Если обратить внимание на категорию «Здоровье и Фитнес», то можно заметить, что в обоих магазинах приложений она очень обширна и включает в себя не только приложения по фитнесу и тренировкам, но и планеры, органайзеры, календари, трекеры и множество другогих типов приложений.

Общим каналом взаимодействия для всех типов является push-уведомления, события и рассылка. Он позволяет постоянно напоминать пользователю о себе и не дать забыть про тренировки, мотивируя и напоминая ему о них. Если мы вовремя взаимодействие с пользователем, мы принесем пользу и ему (поддержав его в его тренировочном прогрессе) и себе.

3. Особенности визуальных элементов фитнес приложений.

Одной из особенностей дизайна фитнес приложений являются их иконки. Они обладают легко узнаваемым и лаконичным стилем. Основными направлениями в дизайне являются:

- люди, занимающиеся спортом и демонстрирующие свою физическую форму;
- брендовые логотипы, узнаваемые с ростом популярности приложения;
- иконки со спортивным инвентарем или изображением ключевого функционала приложения, выполненные в минималистичном дизайне [1].

Существующие программы и их функционал. Был проведён анализ предлагаемых в «магазинах приложений» аналогичных продуктов. Далее приведён обзор недостатков некоторых приложений, которые можно улучшить.

Приложение «*Adidas Training*: фитнес дома»:
- сложный пользовательский интерфейс;
- сложные тренировки, даже в разделе «Новичок»;
- ошибки приложения при загрузке упражнений.

Приложение «*Sworkit* Личный Тренер»:
- полностью платное приложение;
- упражнения только для дома, без оборудования.

Приложение «Худеем за 30 дней» имеет следующие недостатки:
- приложение только для желающих снизить вес;
- нет возможности оценить свою физическую форму до тренировок и выбрать нужные программы.

На основании трендов современной разработки мобильных приложений для занятия спортом можно предложить следующие рекомендации по улучшению качества этих приложений. Приложения должны иметь более простой пользовательский интерфейс, возможность предварительной оценки физической формы пользователя, большее количеством предлагаемых программ тренировок и быть более ориентированными на конкретного пользователя. Поэтому было принято решение разработать собственное приложение для программ спортивных тренировок с учётом недостатков вышеописанных приложений.

Цель.

Разработка мобильного приложения, которое поможет пользователю при выборе программ спортивных тренировок.

Задачи.

Для создания приложения требуется спроектировать стркутуру хранения пользовательских данных, алгоритм подбора спортивной программы на основании индивидуальных данных и критериев поиска, а также удобный интерфейс взаимодействия пользователя с приложением.

Имеющиеся наработки в данной области.

Было разработано мобильное приложение, которое позволяет на основе критериев поиска найти программу тренировок. Приложение имеет следующий функционал:
- публикация своих спортивных программ в открытый доступ;
- добавление спортивной программы в коллекцию для дальнейшего занятия по ней;
- возможность создать аккаунт для размещения своих программ;
- возможность ввести свои физические параметры (рост и вес);
- оценка спортивной программы;

добавление отзыва о программе.

Далее представлены скриншоты пользовательского интерфейса мобильного приложения.

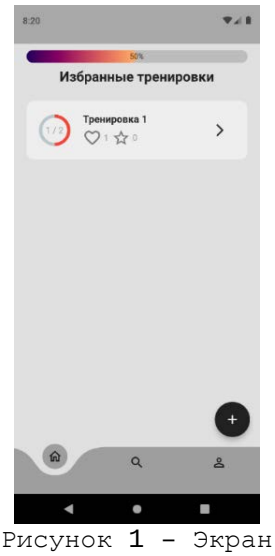


Рисунок 1 – Экран добавленных тренировок

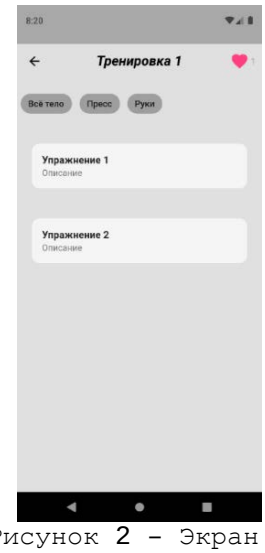


Рисунок 2 – Экран с упражнениями

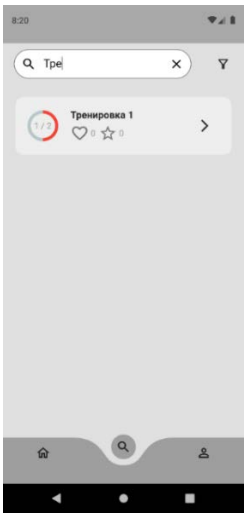


Рисунок 3 – Экран поиска тренировки (поиск по названию)

Структура хранения пользовательских данных.

Для хранения данных пользователей и программ тренировок используются облачная платформа *Firebase* и *noSQL* база данных *Hive*. При запуске приложения вначале загружаются локальные данные из базы данных, после чего данные обновляются в соответствии с *Firebase*.

В листинге 1 приведён код класса «*FirebaseRepository*», реализующего основные операции для работы с данными в *Firebase*.

Листинг 1 – Программный код класса «*FirebaseRepository*»

```
abstract class FirebaseRepository<T extends Model>
    implements CrudRepository<T> {
  final CollectionReference<Map<String, dynamic>> collection;

  FirebaseRepository(final String path)
      : collection = FirebaseFirestore.instance.collection(path);

  @override
  FutureVoid create(final T entity) async {
    final doc = collection.doc(entity.id);
    await doc.set(entity.toJson());
  }

  @override
  Future read(final String id) async {
    final document = await collection.doc(id).get();
    return document.data();
  }

  @override
  FutureVoid update(final T entity) async {
    final doc = collection.doc(entity.id);
    await doc.update(entity.toJson());
  }

  @override
  FutureVoid delete(final String path) => collection.doc(path).delete();
}
```

В листинге 2 приведён код класса «*HiveRepository*» , реализующего основные операции для работы с данными в *Hive*.

Листинг 2 – Программный код класса «*HiveRepository*».

```
abstract class HiveRepository<T extends Model> implements CrudRepository<T>
{
  late Box<T> box;
  final String name;

  HiveRepository(this.name);

  FutureVoid open() async {
    box = await Hive.openBox<T>(name);
  }

  @override
  FutureVoid create(final T entity) => box.put(entity.id, entity);

  @override
  T? read(String id) => box.get(id);

  @override
  FutureVoid update(final T entity) => box.put(entity.id, entity);

  @override
  FutureVoid delete(final String id) => box.delete(id);
}
```

В результате проектирования структуры хранения данных была разработана диаграмма классов, отражающая иерархию наследования классов-репозиториев (рисунок 4).

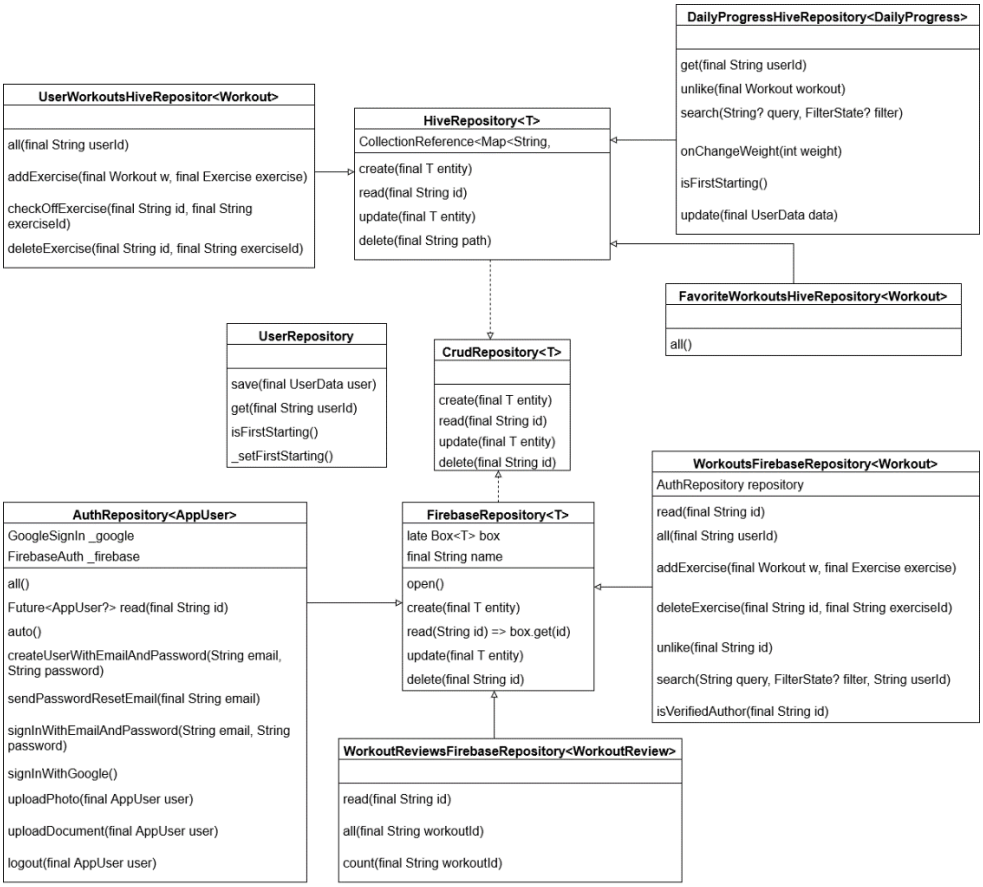


Рисунок 4 – Диаграмма классов (репозитории)

Алгоритм поиска спортивной программы.

Для поиска программ спортивных тренировок был разработан алгоритм, учитывающий группы тренируемых мышц, оценочный уровень сложности и название тренировки. Далее приведён алгоритм поиска (листинг 3).

Листинг 3 – Алгоритм поиска спортивной программы тренировок.

```
Future<WorkoutList> search({
    required String query,
    FilterState? filter,
    required String userId,
  }) async {
    final users = await _authRepository.all();

    final specificationIndexes = filter?.specifications.map((s) => s.index);

    final snapshot = await collection
        .where('author', isNotEqualTo: userId)
        .where(
          'specifications',
          arrayContainsAny: specificationIndexes == null
              ? null
              : specificationIndexes.isNotEmpty
                  ? specificationIndexes
                  : null,
        )
        .get();

    final workouts = snapshot.docs
        .map((final     workout)     =>     Workout.fromJson(workout.data(),
workout.id))
        .where((final workout) {
      final name = workout.name.toLowerCase();
      return name.contains(query.toLowerCase()) && filter != null
          ? filter.verified
              ? users.firstWhere((u) => u.id == workout.author).verified
              : true
```

```
            : true;
      }).toList();

      workouts.sort((a, b) => a.likes > b.likes ? -1 : 1);
      return workouts;
    }
```

В качестве направлений дальнейших разработок предполагается добавить ряд таких полезных функций как:

- возможность запростить персональную консультацию у тренера;
- примененить данные пользователя для улучшения подбора спортивных программ.
- улучшение алгоритма поиска спортивной программы.
- доработка пользовательского интерфейса.
- изменения логики первого запуска приложения.

Далее будут подробно рассмотрены возможные решения и ожидаемые результаты от их реализации.

Возможность запростить персональную консультацию у тренера. Во время тернировки человек не всегда может понять правильно ли он делает то или иное упражение. С этой целью предлагается добавить возможность связаться с тренером в реальном времени через приложеие. Для этого можно интегрировать чат или функционал видеозвонков.

Через чат спортсмен может получить информаци, когда ему нужно узнать общую информацию, о том или ином упражении. В случае, когда требуется непосредственное участие тренера в процессе тренировки связь можно осуществлять через видеозвонок. Это может быть контроль со стороны тренера за качеством выполнения упражения или демонстрация им правильной техники.

Для реализации функционала чата нужно добавить в приложение поддержку технологии ***WebSocket***. Протокол ***WebSocket*** обеспечивает двустороннюю связь между клиентом, выполняющим ненадежный код в контролируемой среде, и удаленным хостом, который согласился на обмен данными из этого кода. Используемая для этого модель безопасности — это модель безопасности на основе источника, обычно используемая веб-браузерами. Протокол состоит из начального рукопожатия, за которым следует базовое формирование сообщения, наложенное на ***TCP***. Цель этой технологии — предоставить механизм для браузерных приложений, которым требуется двусторонняя связь с серверами, который не полагается на открытие нескольких ***HTTP***-соединений [2].

Для реализации функционала видеозвоноков необходимо добавить в приложение поддержку технологии ***WebRTC***. ***WebRTC*** (***Web real-time communication*** – веб коммуникация в режиме реального времени) – открытый стандарт для внедрения возможностей мультимедийной связи в реальном времени непосрдственно в веб-браузере или на любой другом поддерживающей эту технологию платформе (мобильные приложения). Использование платформы, основанной на открытых технологиях, позволяет обойтись без дополнительных надстроек, расширений и плагинов [3].

Для отображения возможности взамиодествия с тренером через чат или видеозвонок, можно добавить в приложение переход на отдельный экран с чатом, в котором также будет возможность позвонить тренеру. Чтобы упростить реализацию этого функционала, можно воспользоваться готовыми решениями представленными в открытом доступе на pub.dev.

Ожидается, что после реализации этих технологий повысится спрос на приложение, так как оно станет более функциональным и сможет покрыть больше запросов пользователей. Стоит отметить сложности, связанные с реализацией. Требуется не только написать клиентский код, но и реализовать серверную часть.

Примененить данные пользователя для улучшения подбора спортивных программ. В настоящий момент в приложении существует поддержка хранения роста и веса пользователя, но эти данные пока никак не используются. Можно применить эти данные для расчета индекса массы тела (ИМТ) и подбора спортивной программы.

Помимо ИМТ для подбора программы потребуются также данные о физической активности, которые также можно запрашивать, и цель тренировок, это может быть:

- снижение веса;
- увеличение мышечной массы;
- повышение выносливости.

Также стоит учесть возраст и пол спортсмена. Можно выделить следующие группы:

Дети и подростки. Для детей и подростков подойдут программы, которые способствуют развитию координации, силы, гибкости и выносливости. Это могут быть: плавание, гимнастика и легкая атлетика.

Взрослые. Для взрослых подойдут программы, которые соответствуют их физической форме. Это могут быть: кардио-тренировки, силовые тренировки, йога, бег, велосипед и плавание.

Пожилые люди. Для пожилых людей подойдут программы, которые учитывают их физическое состояние, предотвращают травмы и способствуют укреплению мышц, гибкости и баланса. Программы для пожилых могут включать легкую аэробику, занятия йогой, плавание, ходьбу и упражнения на укрепление мышц.

Женщины. Женщинам подойдут программы, не требующие больших физических нагрузок, но тут могут быть индивидуальные исключения.

Мужчины. Мужчинам подойдут программы, которые в содержат кросс-фит тренировки, работу со своим весом и дополнительными отягощениями.

Улучшение алгоритма поиска спортивной программы. На данный момент для поиска спортивной программы можно добавить следующие критерии:

- тренируемая группа мышц;
- автор;
- название спортивной программы;
- для улучшения алгоритма можно добавить критерии:
- цели тренировок;
- пол;
- возраст;
- ориентировочная длительность программы;
- интенсивность.

Доработка пользовательского интерфейса. Для улучшения пользовательского опыта требуется доработать пользовательский интерфейс приложения. Главная цель при этом – создание удобного и интуитивно понятного интерфейса, который позволит пользователям легко и быстро взаимодействовать с приложением.

При проектировании нового интерфейса следует учесть следующие аспекты:

- интерфейс должен быть интуитивно понятным, таким, чтобы пользователю не требовалось объяснять, как им пользоваться;
- чаще всего, пользователи в интерфейсе сначала ищут сущность (существительное), а затем действие (глагол) к ней;
- чем быстрее человек увидит результат – тем лучше;
- следует с осторожностью предоставлять пользователю возможность, по установке личных настроек;
- чем больше пользователь работает с какой-то конкретной задачей, тем больше он на ней концентрируется и тем меньше перестает замечать подсказки и сообщения, выводимые программой.

Также целесообразно учесть технологические особенности платформ ***Android***, ***iOS*** , а также других возможных вариантов и соответствующих им стилей пользовательского интерфейса: ***Material Design*** и ***Cupertino Design***.

Изменения логики первого запуска приложения. Сейчас, при первом запуске приложения, пользователь видит экран авторизации. Из этого следует что, ему необходимо создать аккаунт, чтобы пользоваться функциями приложения. Можно доработать стартовую логику, сделав авторизацию необязательной для использования некоторых функций приложения, и перенести экран авторизации со стартового.

Это улучшение упросит первичное знакомство пользователей с приложением. Так, например, если пользователь просто хочет найти любую спортивную программу, то ему не обязательно будет заполнять информацию о себе, которая сейчас требуется при регистрации, и он получит желаемый результат быстрее.

Выводы. В результате анализа имеющихся технических решений, показана актуальность персонифицированного мониторинга в процессе планирования и организаци спортивных тренировок. Предложено решение на облачной платформе ***Firebase*** и ***noSQL*** и база данных ***Hive*** в виде мобильного приложения.

Определены направления дальнейших разработок и улучшения имеющегося функционала для привелечения новых пользователей.

Показана необходимость учета определенных факторов влияющих на предпочтения пользователей и особенности взаимодествия с приложением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тренды для ниши фитнес-приложений в 2023 // [Электронный ресурс]. URL: https://asomobile.net/blog/aso-trendy-dlya-nishi-fitnes-prilozhenij-v-2023.

2. I. Fette, A. Melnikov. RFC 6455: The WebSocket Protocol , 2011.

3. E.A Khudkina, V.V. Timoshina The web real time communication technology WEBRTC // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2016. - Том 2 - С 111.

УДК 614.446.1

Головяшкина[1] Н.П., Зиновьев[2] Д.Ю., Зубриянова[3] Н.С., Довыдова[4] Е.А., Федосеев[5] О.Н.

[1,2,3,4] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[5] Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

[1] goziz59@mail.ru

[5] ie@pguas.ru

ИНФОРМИРОВАННОСТЬ МОЛОДЕЖИ ПО ВОПРОСАМ РЕПРОДУКТИВНОГО ЗДОРОВЬЯ, КАК ФАКТОР ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ И НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

Аннотация. Формирование репродуктивного здоровья молодежи является важным ресурсом демографических показателей в будущем и залогом здоровья нации в целом. Важным показателем формирования репродуктивного здоровья является информированность о том, что такое репродуктивное здоровье, о его взаимосвязи с соматическим, физическим, психическим здоровьем, факторах риска и профилактике его нарушений, сексуальном поведении и отношениях. В своем исследовании мы поставили цель определить уровень информированности молодых людей о репродуктивном здоровье и выявить зависимость наличия или отсутствия зависимости уровня информированности от пола и возраста респондентов.

Ключевые слова: репродуктивное здоровье, информированность, студенческая молодежь

Golovyashkina[1] N.P., Zinov'yev[2] D.Yu., Zubriyanova[3] N.S., Dovydova[4] E.A., Fedoseyev[5] O.N.

[1,2,3,4] Penza State University, Penza Russia

[5] Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

[1,2,3,4] goziz59@mail.ru

[5] ie@pguas.ru

AWARENESS OF YOUNG PEOPLE ON REPRODUCTIVE HEALTH ISSUES AS A FACTOR OF DEMOGRAPHIC STABILITY AND NATIONAL SECURITY OF THE STATE

Annotation. The formation of reproductive health of young people is an important resource for demographic indicators in the future and the key to the health of the nation as a whole. An important indicator of the formation of reproductive health is awareness of what reproductive health is, its relationship with somatic, physical, mental health, risk factors and its prevention disorders, sexual behavior and relationships. In our study, we set a goal to determine the level of awareness of young people about reproductive health and to identify the presence or absence of dependence of the level of awareness on the gender and age of the respondents.

Keywords: reproductive health, awareness, student youth

Формирование репродуктивного здоровья молодежи является важным ресурсом демографических показателей в будущем и залогом здоровья нации в целом [1]. Важным показателем формирования репродуктивного-здоровья является информированность о том, что такое репродуктивное здоровье, о его взаимосвязи с соматическим, физическим, психическим здоровьем, факторах риска и профилактике его нарушений, сексуальном поведении и отношениях [2-5].

Особый ранг молодёжи составляет студенчество. Это - элита молодёжи, которая задаёт образец поведения в молодёжной среде. Поэтому крайне важно, чтобы именно в данной социальной группе складывалось правильное отношение к своему репродуктивному здоровью. Важно сформировать у молодых людей представление о том что ,здоровье - это не отсутствие болезни как таковой или физических недостатков, а состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а. репродуктивное здоровье - это способность людей к зачатию и рождению детей, возможность сексуальных отношений без угрозы заболеваний, передающихся половым путем, гарантия безопасности беременности и родов, выживание ребенка, благополучие матери и возможность планирования последующих беременностей, в том числе предупреждения нежелательной. В настоящее время проблема репродукции является особо актуальной, так как, в стране на протяжении более десятка лет сохраняются низкие показатели рождаемости, которые не дают возможности приблизиться к простому воспроизводству населения. Суммарный коэффициент рождаемости (СКР), представляющий число детей, рожденных в среднем одной женщиной, в2023 году составил 1,41, а для обеспечения простого воспроизводства необходимо не менее 2,1. В настоящее время по данным главного акушера-гинеколога страны, 10 миллионов граждан России репродуктивного возраста бесплодны, среди них 6 млн женщин и 4 млн мужчин. Из 100 бездетных пар 40-46% не имеют детей по причине абортов, мужского бесплодия, связанного с инфекциями, передаваемыми половым путем, в том числе ВИЧ, влиянием на репродуктивное здоровье факторов окружающей среды, условий работы и вредных привычек.

Показателем репродуктивной деградации является число совершаемых ежегодно абортов. Так, в 2022 году в России только по официальной статистике было

прервано 1,795 млн. беременностей. Эта цифра складывается из суммы хирургических абортов и абортов произведенных при помощи средствах экстренной контрацепции и медикаментозного аборта на очень ранних сроках. По данным аналитического исследования, проведённого фармацевтическими компаниями, общий объем потребления препаратов для медикаментозных абортов в 2022 году составил 1,4 млн упаковок - рост относительно 2021 года достиг 60%. Если приплюсовать к этому данные по хирургическим абортам за 2022 год от Минздрава (395 200), то и получится эта цифра, когда на каждую доношенную беременность могло приходиться одно искусственное прерывание. В большей степени эта проблема касается возрастной группы молодёжи от 15 до 25 лет.

В своем исследовании мы поставили цель определить уровень информированности молодых людей о репродуктивном здоровье и выявить наличие или отсутствие зависимости уровня информированности от пола и возраста респондентов.

Материалы и методы

Исследование проводилось на выборочной совокупности 3924 респондента. По своим характеристикам выборка полностью соответствовала генеральной совокупности. Выборка случайная репрезентативная, с доверительным интервалом выше 95%. Объём выборки рассчитан с помощью компьютерной программы, находящейся в свободном доступе (https://allcalc.ru/node/100).

Для выявления тесноты связи между уровнем информированности полом и возрастом использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена, который относится к показателям оценки тесноты связи. Качественную характеристику тесноты связи коэффициента ранговой корреляции, как и других коэффициентов корреляции, можно оценить по шкале Чеддока.

Иногда показателям тесноты связи можно дать качественную оценку (шкала Чеддока):

Количественная мера тесноты связи	Качественная характеристика силы связи
0,1 - 0,3	Слабая
0,3 - 0,5	Умеренная
0,5 - 0,7	Заметная
0,7 - 0,9	Высокая
0,9 - 0,99	Весьма высокая

Расчет коэффициента состоит из следующих этапов:

Ранжирование признаков по возрастанию. Ранг - это порядковый номер. Если встречаются два одинаковых значения, им присваивают одинаковое значение ранга, равное среднему арифметическому рангов этих значений.

Определение разности рангов каждой пары сопоставляемых значений, $d = d_x - d_y$.

Возведение в квадрат разность d_i и нахождение общей суммы, $\sum d^2$.

Вычисление коэффициента корреляции рангов по формуле:

$$з = 1 - 6\frac{\sum d^2}{n^3 - n}$$

где d^2 - квадратов разностей между рангами; N - количество признаков, участвовавших в ранжировании.

Свойства коэффициента ранговой корреляции Спирмена

Нормируемость. Коэффициент корреляции рангов может принимать значения от -1 до +1. Если $p = 1$, то это свидетельствует о возможном наличии прямой связи, $p = -1$ свидетельствует о возможном наличии обратной связи.

Общее число экспертов - 777

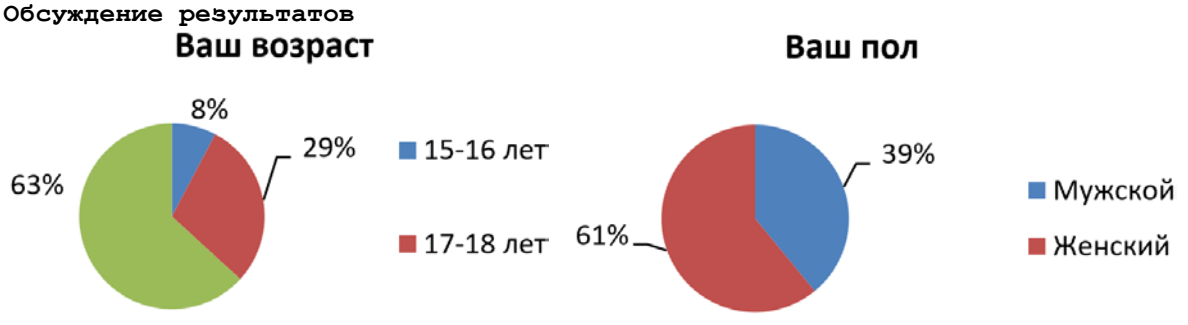
Ранги

Возраст	15-16	17-18	Больше 18
ранг	1	2	3

пол	Ж	М
ранг	1	2

Связь между значимостью показателей в опроснике и характеристиками корреспондентов (возраст и пол)

Обсуждение результатов





Другое:
не знаю
все в совокупности
пункт 1,2 и 4
полностью здоровый организм, который имеет возможность к зачатию и рождению детей
не знаю слова «репродуктивное»
здоровье гормонального фонда
отсутствие ИППП и ЗППП
не понимаю
отсутствие болезней репродуктивной сферы
Ранг:

способность к зачатию и рождению здоровых детей	5
состояние физического, умственного и социального благополучия	4
возможность вести полноценную и разнообразную половую жизни	3
удовлетворение и безопасная сексуальная жизнь	2
другое	1





Другое:
не знаю
все в совокупности
пункт 1,2 и 4
полностью здоровый организм, который имеет возможность к зачатию и рождению детей
не знаю слова «репродуктивное»
здоровье гормонального фонда
отсутствие ИППП и ЗППП
не понимаю
отсутствие болезней репродуктивной сферы
Ранг:

способность к зачатию и рождению здоровых детей	5
состояние физического, умственного и социального благополучия	4
возможность вести полноценную и разнообразную половую жизни	3
удовлетворение и безопасная сексуальная жизнь	2
другое	1



Другое:

все выше перечисленное
никак
не веду половую жизнь
не сижу на холодном
посещаю врача при проблемах
соблюдаю правила гигиены
нахожусь в одних отношениях со своей женой и больше ни с кем
избегаю опасных ситуаций
пью женские гормоны
Ранг:

не употребляю алкоголь, не курю, регулярно посещаю врача специалиста (гинеколога/уролога/андролога)	7
занимаюсь спортом, не курю, регулярно посещаю врача специалиста (гинеколога/уролога/андролога)	6
занимаюсь спортом, не употребляю алкоголь, не курю, использую средства контрацепции	5
не употребляю алкоголь, не курю, использую средства контрацепции	4
регулярно посещаю врача специалиста (гинеколога/уролога/андролога)	3
использую средства контрацепции	2
Не курю, занимаюсь спортом	1
другое	0

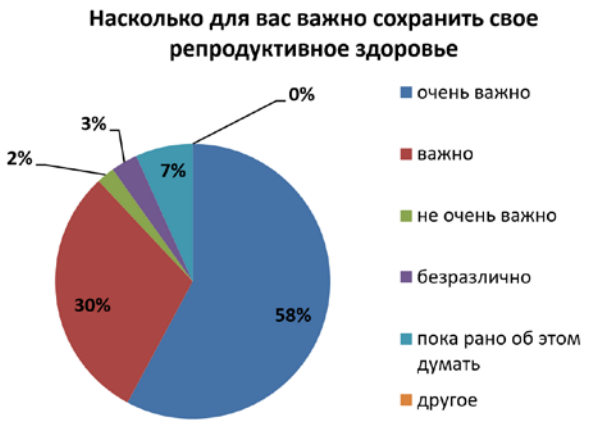


Инфекции, передаваемые половым путем, большое количество половых партнеров, раннее начало половой жизни, несоблюдение правил гигиены	7
инфекции, передаваемые половым путем, несоблюдение правил гигиены, большое количество половых партнеров	6
инфекции, передаваемые половым путем, несоблюдение правил гигиены	5
инфекции, передаваемые половым путем, прерывание беременности, частая смена половых партнеров	4
инфекции, передаваемые половым путем	3
прерывание беременности	2
воздержание от половых контактов	1
другое	0



Другое:
18 и старше; 25; 30; после свадьбы; затрудняюсь ответить

19 и старше	4
16-18 лет	3
14-16 лет	2
другое	1



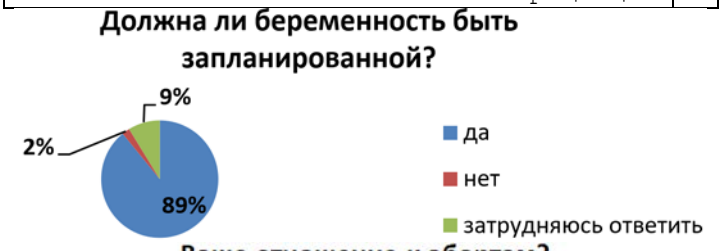
ранг

Очень важно	6
важно	5
Пока рано об этом думать	4
безразлично	3
Не очень важно	2
другое	1



ранг

СМИ и другие интернет-ресурсы	6
родители	5
друзья и знакомые	4
медики	3
педагоги	2
Я ничего не знаю о способах контрацепции	1

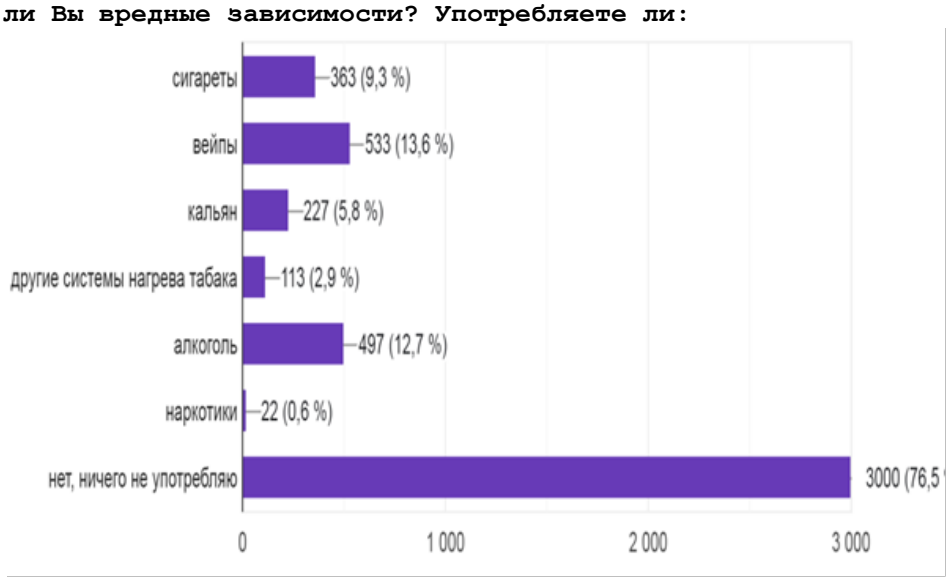




ранг

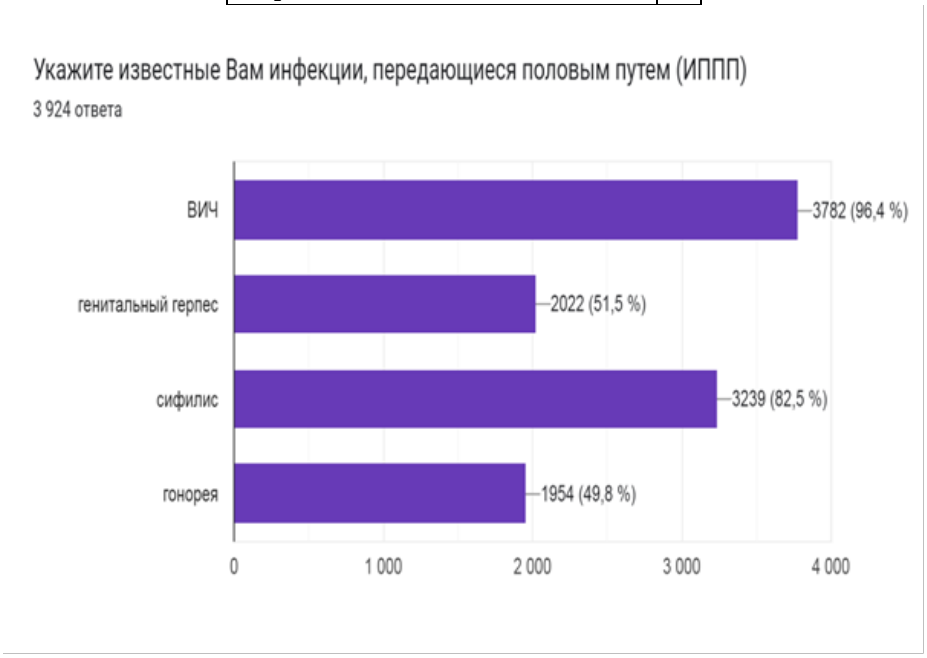
это медицинская процедура безопасна	6
это сильный стресс и угроза здоровью для девушки/женщины	5
не задумываюсь об этом	4
это метод контроля рождаемости	3
это убийство человека	2
это безвыходная ситуация	1

Имеете ли Вы вредные зависимости? Употребляете ли:



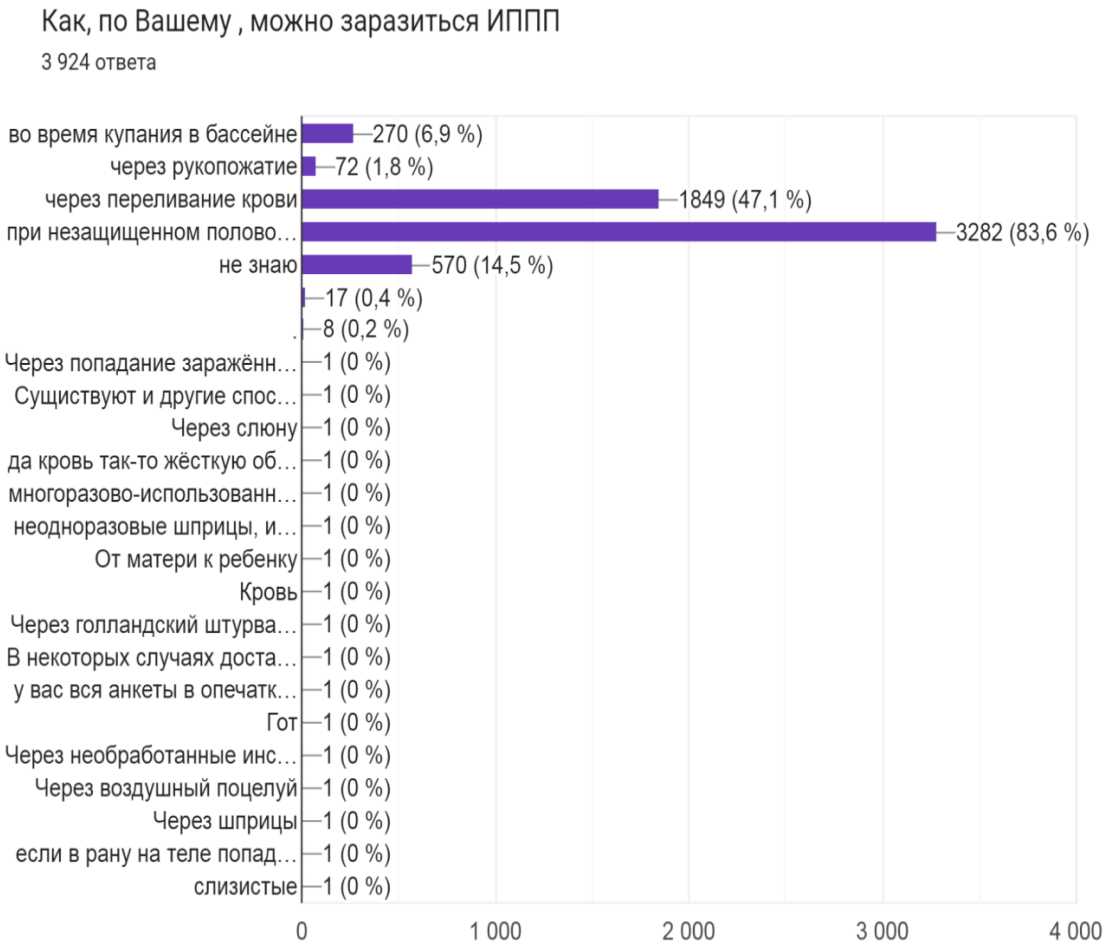
ранг

нет, ничего не употребляю	6
вейпы	5
алкоголь	4
сигареты	3
кальян	2
наркотики	1



ранг

ВИЧ	+1
сифилис	+1
генитальный герпес	+1
гонорея	+1



ранг

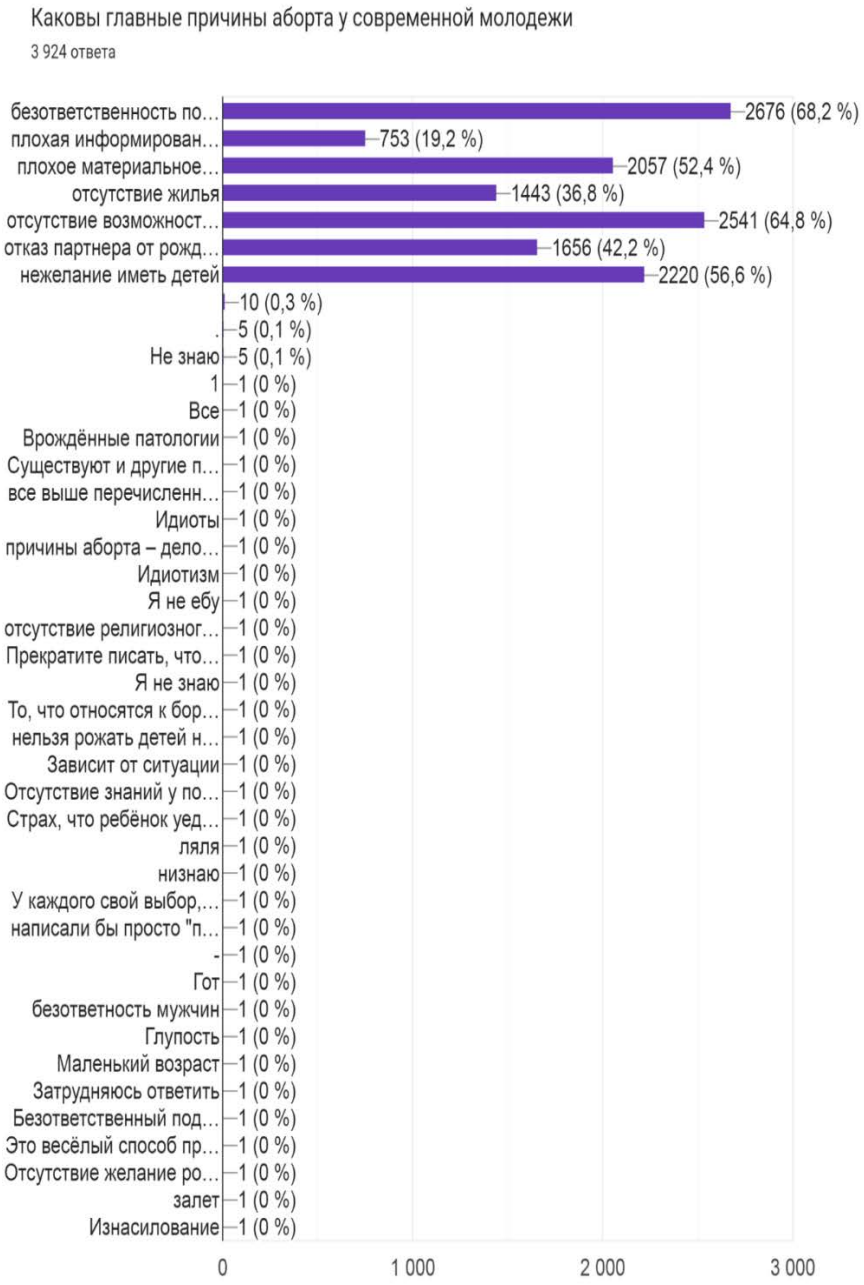
при незащищенном половом контакте	+2
через переливание крови	+2
Во время купания в бассейне	+1
Через рукопожатие	+1
Не знаю	0



Выводы

Полученные результаты позволяют говорить о том, что большинство опрошенных респондентов не имеют системных знаний о репродуктивном здоровье и способах его защиты. Только 20% из их числа включили в понятие репродуктивное здоровье состояние социального и ментального. благополучия., и лишь 1% охарактеризовал

данную дефиницию по совокупности факторов. Данная тенденция четко прослеживается при ответах на все поставленные вопросы.



Полученные в ходе анкетирования данные наглядно демонстрируют, что в молодежной среде сложилось устойчивое мнение о том, что аборт является безопасной процедурой с медицинской точки зрения и вполне приемлем с позиции морали.

В ответах на открытые вопросы молодые люди применяют негативный контент (вплоть до ненормативной лексики) выказывая тем самым раздражение и недоверие к проводимому опросу.

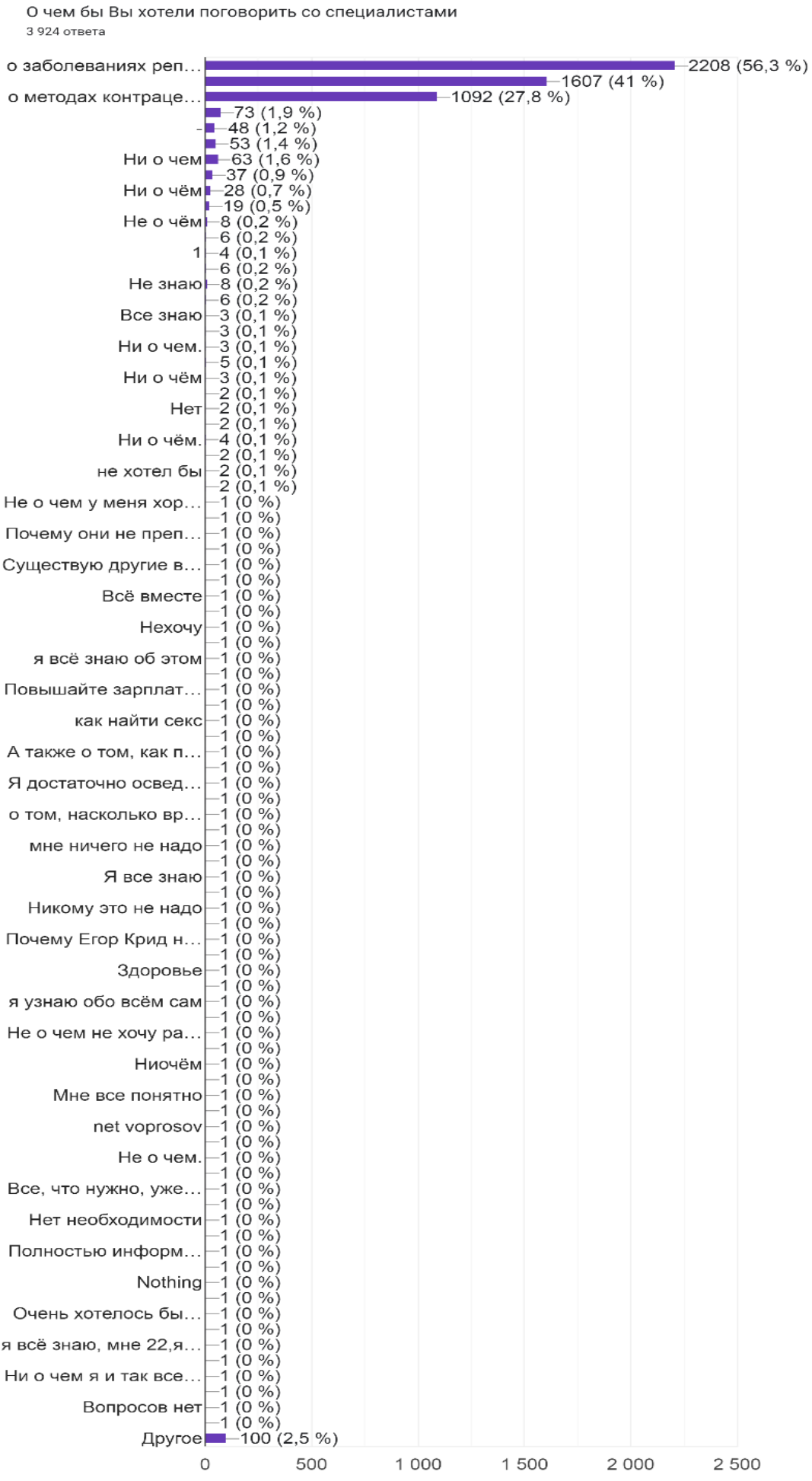
Характер и объем статистической обработки исключает возможность произвольной интерпретации результатов, в связи с этим мы вправе заявить о том, что:

1. С возрастом информированность респондентов о репродуктивном здоровье возрастает незначительно. Связь возраста и информированности по шкале Чеддока от 0,1 до 0,3 характеризуется как слабая.

2. Девушки в вопросах репродуктивного здоровья более информированы и имеют более стойкую мотивацию по его сохранению (связь пола и информированности по шкале Чеддока от 0,5 до 0,7 характеризуется как заметная).

3 Применяемые в настоящее время методы просвещения и мотивации молодежи в сфере репродуктивного здоровья неэффективны.

4.Необходимо провести масштабное исследование по выявлению и ранжированию источников информации по степени их легитимации в молодежной среде.


О чем бы Вы хотели поговорить со специалистами
3 924 ответа
о заболеваниях реп…
2208 (56,3 %)
1607 (41 %)
о методах контраце…
1092 (27,8 %)
73 (1,9 %)
-
48 (1,2 %)
53 (1,4 %)
Ни о чем
63 (1,6 %)
37 (0,9 %)
Ни о чём
28 (0,7 %)
19 (0,5 %)
Не о чём
8 (0,2 %)
6 (0,2 %)
1
4 (0,1 %)
6 (0,2 %)
Не знаю
8 (0,2 %)
6 (0,2 %)
Все знаю
3 (0,1 %)
3 (0,1 %)
Ни о чем.
3 (0,1 %)
5 (0,1 %)
Ни о чём
3 (0,1 %)
2 (0,1 %)
Нет
2 (0,1 %)
2 (0,1 %)
Ни о чём.
4 (0,1 %)
2 (0,1 %)
не хотел бы
2 (0,1 %)
2 (0,1 %)
Не о чем у меня хор…
1 (0 %)
1 (0 %)
Почему они не преп…
1 (0 %)
1 (0 %)
Существую другие в…
1 (0 %)
1 (0 %)
Всё вместе
1 (0 %)
1 (0 %)
Нехочу
1 (0 %)
1 (0 %)
я всё знаю об этом
1 (0 %)
1 (0 %)
Повышайте зарплат…
1 (0 %)
1 (0 %)
как найти секс
1 (0 %)
1 (0 %)
А также о том, как п…
1 (0 %)
1 (0 %)
Я достаточно освед…
1 (0 %)
1 (0 %)
о том, насколько вр…
1 (0 %)
1 (0 %)
мне ничего не надо
1 (0 %)
1 (0 %)
Я все знаю
1 (0 %)
1 (0 %)
Никому это не надо
1 (0 %)
1 (0 %)
Почему Егор Крид н…
1 (0 %)
1 (0 %)
Здоровье
1 (0 %)
1 (0 %)
я узнаю обо всём сам
1 (0 %)
1 (0 %)
Не о чем не хочу ра…
1 (0 %)
1 (0 %)
Ниочём
1 (0 %)
1 (0 %)
Мне все понятно
1 (0 %)
1 (0 %)
net voprosov
1 (0 %)
1 (0 %)
Не о чем.
1 (0 %)
1 (0 %)
Все, что нужно, уже…
1 (0 %)
1 (0 %)
Нет необходимости
1 (0 %)
1 (0 %)
Полностью информ…
1 (0 %)
1 (0 %)
Nothing
1 (0 %)
1 (0 %)
Очень хотелось бы…
1 (0 %)
1 (0 %)
я всё знаю, мне 22,я…
1 (0 %)
1 (0 %)
Ни о чем я и так все…
1 (0 %)
1 (0 %)
Вопросов нет
1 (0 %)
1 (0 %)
Другое
100 (2,5 %)
0
500
1 000
1 500
2 000
2 500

Корреляции Спирмена: коэффициент / уровень значимости

№	Вопрос	возраст	пол
1	**Как Вы понимаете значение словосочетания «репродуктивное здоровье?**	0,145 / <0, 05 Связь слабая С возрастом информированность незначительно повышается	-0,03 / <0, 05 Нет связи
2	**Как Вы заботитесь о своем репродуктивном здоровье?**	0,20/ <0, 05 Связь слабая С возрастом забота повышается	**-0,45 / 0, 05 женщины лучше заботятся о своем здоровье, достоверно для порога вероятности 0,95 связь умеренной силы**
3	**Каковы, на ваш взгляд, причины нарушения репродуктивного здоровья**	0,10/ <0, 05 Связь слабая С возрастом информированность незначительно повышается	**-0,34** / <0, 05 Связь слабая, женщины немного полнее характеризуют причины нарушения здоровья
4	**Какой возраст вы считаете оптимальный для начала половой жизни?**	0,09 / <0, 05 Нет связи	-0,03 / <0, 05 Нет связи
5	**Насколько для вас важно сохранить свое репродуктивное здоровье**	0,14 / <0, 05 Связь слабая С возрастом важность увеличивается	-0,15 / <0, 05 Связь слабая Для женщин важность больше
6	**Кто вам рассказал о способах контрацепции**	0,07 / <0, 05 Нет связи	-0,08 / <0, 05 Нет связи
7	**Ваше отношение к абортам?**	0,03 / <0, 05 Нет связи	-0,07 / <0, 05 Нет связи
8	**Имеете ли Вы вредные зависимости? Употребляете ли:**	-0,15 / <0, 05 Тенденция к уменьшению доли корреспондентов, ведущих здоровый образ жизни с увеличением возраста Связь слабая	**- 0,56 / 0, 05 женщины имеют меньше вредных привычек, достоверно для порога вероятности 0,95 связь заметная**
9	**Известны ли инфекции, передающиеся половым путем**	0,25 / <0, 05 Тенденция увеличению информированности с увеличением возраста Связь слабая	-0,07 / <0, 05 Нет связи
10	**Как можно заразиться ИПП**	0,11 / <0, 05 Тенденция увеличению информированности с увеличением возраста Связь слабая	-0,06 / <0, 05 Нет связи

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адамян Л.В., Сибирская Е.В., Богданова Е.А., Колтунов И.Е. и др. Репродуктивное здоровье девочеки девушек г. Москвы. Предложения по сохранению репродуктивного потенциала // Репродукт. здоровье детей и подростков. 2016. № 2. С. 13-14.

2. Уварова Е.В., Тарусин Д.И., Кучма В.Р., Сухарева Л.М. и др. Профилактика нарушений репродуктивного здоровья детей и подростков // Вопр. школьной и университетской медицины и здоровья. 2018. № 2. С. 45-62.

3. Уточкин Ю.А., Высотин С.А., Сайфитова А.Т., Очкова А.А. и др. Оценка информированности старшеклассников о рисках репродуктивного здоровья // Междунар. студенческий научн. вестн. 2019. № 1. С. 12.

4. Семченко Л.Н., Герасимова О.Ю. Репродуктивное поведение девочек подросткового возраста и ведущие факторы риска, формирующие их репродуктивное здоровье // Непрерывное медицинское образование и наука. 2017. Т. 12, № 2. С. 34-35.

5. Воробьева Е.А., Кочерова О.Ю., Пыхтина Л.А., Филькина О.М. и др. Особенности заболеваемости и физического развития подростков 15-17 лет с различными темпами полового созревания // Вестн. новых медицинских технологий. 2007. Т. 14, № 2. С. 54-56.

УДК 628.31

Вьюговский А.А
Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
dreystill@mail.ru

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК: ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрено формирование поверхностного стока с разных территорий. Приведены сведения о составе стока, нормативы состава сточных вод для абонентов централизованной системы водоотведения г. Пензы.
Ключевые слова: поверхностный сток, селитебные территории, взвешенные вещества, нефтепродукты, нормативы состава сточных вод

Vyugovsky A.A
Penza State University, Penza, Russia
dreystill@mail.ru

SURFACE SEWAGE: FEATURES OF THE FORMATION

Annotation. The article considers the formation of surface sewage from different territories. The information on the composition of the sewage, the standards of the composition of wastewater for subscribers of the centralized wastewater disposal system of Penza are provided.
Keywords: surface sewage, residential areas, suspended solids, petroleum products, wastewater composition standards

Рост городских агломераций сопровождается увеличением в них населения (наблюдается рост плотности населения), и, как следствие, увеличение количества автотранспортных средств. Агломерационный эффект способствует развитию экономической среды – открытие новых предприятий, масштабирование действующего бизнеса. Однако, это приводит к увеличению антропогенной нагрузки на окружающую среду: загрязнение атмосферы, гидросферы, литосферы.

Селитебные территории, площадки предприятий являются источниками загрязнения водных объектов, почвы, в том числе, через поверхностный сток.

Под поверхностными сточными водами понимают дождевые, талые, инфильтрационные, поливомоечные, дренажные воды, образующиеся в результате выпадения дождей, таяния снега, мойки дорожных покрытий, при искусственном водопонижении, а также инфильтрации в коллекторе [1].

Актуальность проблемы сбора и очистки поверхностных сточных вод с городских территорий и площадок предприятий вызвана постоянным ростом источников загрязнения техносферы различными веществами природного и техногенного происхождения.

В Российской Федерации вопрос охраны водных объектов остро стоит на повестке дня. Действующим законодательством регламентируется порядок сброса дождевых, талых, поливомоечных вод с городских территорий ("Водный кодекс Российской Федерации" от 03.06.2006 N 74-ФЗ, Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ, Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 3 "Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий").

Поверхностные сточные воды с территорий промышленных зон, строительных площадок, складских хозяйств, автохозяйств, а также особо загрязнённых участков, расположенных на селитебных территориях городов и населённых пунктов (бензозаправочные станции, автостоянки, автобусные станции, торговые и торгово-логистические комплексы и др.), перед сбросом в дождевую канализацию или централизованную систему коммунальной канализации должны подвергаться очистке на локальных очистных сооружениях.

Однако на сегодняшний день очистке подвергается не более 10 % годового объема поверхностного стока, организованно отводимого с территории поселений. Наиболее развита система отведения и очистки поверхностного стока в г. Москве, однако и там существующие очистные сооружения принимают поверхностный сток с 35 % канализованной территории города [2].

Неравномерность поступления поверхностного стока в систему водоотведения имеет прямую взаимосвязь с метеорологическими условиями. Обильное выпадение осадков в виде дождя приводит к формированию максимального объема сточных вод, поступающих в ливневую канализацию, аналогичная ситуация может наблюдаться при резком снеготаянии весной и при длительных плюсовых температурах в зимний период. Количество осадков и, как следствие, объем стока, имеют прямую связь с

концентрацией загрязняющих веществ в стоке. Наибольший показатель загрязнения наблюдается в начале стока с набором максимума после чего происходит его снижение.

Состав поверхностного стока непостоянен и зависит от места его образования. Сток с автодорог, как правило, рассматривается по четырем параметрам: взвешенные вещества и нефтепродукты, $БПК_{20}$ и ХПК. Вместе с тем не рассматривается содержание в данных сточных водах иных загрязняющих веществ: свинца, цинка, меди и т.д. Стоит отметить, что в соответствии с законодательством на очистные сооружения должно отводиться не менее 70% поверхностного стока от годового объема стока с автодорог, который образуется вследствие выпадения осадков и мойки дорог.

Согласно п.7.5, п.7.6 [3] сточные воды с водосборной площади автомобильной дороги с малой интенсивностью движения (менее 4000 приведенных ед./сут), допускается отводить в водные объекты без обработки (очистки) или соответственно инфильтровать; сточные воды с водосборной площади автомобильной дороги интенсивностью движения более 4000 приведенных ед./сут должны перед отведением в водные объекты пройти обработку (очистку). Образующиеся в результате очистки в очистных сооружениях осадки и плавающие материалы рекомендовано использовать как вторичное сырьевой продукт (при возможности) или утилизировать посредством передачи неутилизированных осадков специализированной организации [4].

Объективное определение концентраций загрязняющих веществ в поверхностном стоке автомобильных дорог возможно только «на месте» с применением специализированных приборов. «Методические» концентрации носят общий характер и не отображают реальной картины. Так количество поллютантов в поверхностном стоке для автомобильных дорог I категории согласно Рекомендациям [5] представлено в таблице 1.

Таблица 1

Наименование	Количество загрязнений, мг/л	
	в дождевых водах	в талых водах
Взвешенные вещества	1300	2700
Свинец	0,28	0,3
Нефтепродукты	24	26
Примечания: Для автодорог других категорий принимаются следующие коэффициенты: для автодорог II категории - 0,8, III - 0,6, IV - 0,4, V- 0,3.		

Значения показателей загрязнения согласно Рекомендациям ОАО «НИИ ВОДГЕО» [6] приведены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование	Показатели загрязнения, мг/дм^3	
	дождевой сток	талый сток
Взвешенные вещества	1000	3000
$БПК_{20}$	80	120
ХПК	610	1200
Нефтепродукты	20	25

Проведенные экспериментальные исследования [7] на Кольцевой автомобильной дороге вокруг Санкт-Петербурга показали, что средняя концентрация взвешенных веществ в дождевом стоке с дорожного полотна составляет 491 мг/л, нефтепродуктов – 3,23 мг/л, ХПК – 730 мг/л, $БПК_5$ – 44,5 мг/л, свинец – 0,081 мг/л.

Полученные значения показателей загрязнений непосредственно с объекта свидетельствуют о необходимости пересмотра заявленных в Рекомендациях концентраций поллютантов в поверхностном стоке от автомобильных дорог посредством проведения новых актуальных и объективных исследований.

Селитебная территория представляет собой совокупность земельных участков, на которых произведена жилая застройка городского или сельского поселений, размещены различные учреждения, общественные здания, улично-дорожная сеть, системы озеленения и т.д. Поступление загрязняющие вещества (минеральных и органических примесей естественного происхождения, нефтепродуктов, СПАВ, тяжелых металлов, бактериальных загрязнений и т.д.), входящих в состав поверхностного стока селитебных территорий, связано с процессами эрозии почв, пылью, мусором, транспортом, абсорбции газов из атмосферы, вымыванием компонентов дорожных покрытий.

Поверхностный сток с площадок производственных организаций отличается от стока с селитебных территорий составом, обусловленным видом производства, технологическими процессам, наличием газоочистных установок и их фактической эффективностью, складированием сырья и отходов производства, режимом уборки территории.

Приоритетными загрязняющими веществами поверхностных сточных вод являются взвешенные вещества, нефтепродукты, органические вещества (показатели БПК и ХПК).

Примерный состав поверхностных сточных вод для различных территорий [6] представлен в таблице 3.

Таблица 3

Площадь стока	Наименование	Показатели загрязнения, мг/дм³	
		дождевой сток	талый сток
Участки селитебной территории с высоким уровнем благоустройства и регулярной механизированной уборкой дорожных покрытий (центральная часть города с административными зданиями, торговыми и учебными зданиями)	Взвешенные вещества	400	2000
	$БПК_{20}$	40	70
	ХПК	300	700
	Нефтепродукты	8	20
Современная жилая застройка	Взвешенные вещества	650	2500
	$БПК_{20}$	60	100
	ХПК	480	1000
	Нефтепродукты	12	20
Территории, прилегающие к промышленным предприятиям	Взвешенные вещества	2000	4000
	$БПК_{20}$	90	150
	ХПК	650	1500
	Нефтепродукты	18	25
Кровли зданий и сооружений	Взвешенные вещества	< 20	< 20
	$БПК_{20}$	< 10	< 10
	ХПК	< 80	< 100
	Нефтепродукты	0,01-0,7	0,01-0,7
Территории с преобладанием индивидуальной жилой застройки; газоны и зелёные насаждения	Взвешенные вещества	300	1500
	$БПК_{20}$	60	100
	ХПК	400	1000
	Нефтепродукты	< 1	< 1

Наличие в составе поверхностного стока определенных загрязняющих веществ, которые формируются и накапливаются на участках стока, позволило разделить предприятия на две группы:

Предприятия, имеющие состав поверхностного стока схожий с селитебной зоной. В стоке отсутствуют специфические вещества с токсичными свойствами.

Предприятия, в поверхностном стоке которых возможно присутствие специфические вещества с токсичными свойствами или значительных количеств органических веществ, обусловливающих высокие значения показателей ХПК и $БПК_{20}$ стока.

Примерный характеристика дождевых сточных вод по основным показателям загрязнения для предприятий первой и второй групп [6] приведена в таблице 4.

Таблица 4

Загрязняющее вещество	Значение показателей загрязнения дождевых вод, мг/дм3	
	Первая группа	Вторая группа
Взвешенные вещества	400-2000*	500-2000
Солесодержание	200-300	50-3000
Нефтепродукты	10-30 (70*)	До 500
ХПК фильтрованной пробы	100-150**	До 1400
$БПК_{20}$ фильтрованной пробы	20-30**	До 400
Специфические компоненты	Отсутствуют	В зависимости от профиля производства содержат тяжёлые металлы, фенолы, СПАВ, мышьяк, роданиды, фосфор, аммиак, фтор, жиры, масла, белки и т.д.

Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, приведен в [8]. Постановлениями Администрации г. Пензы от 10.09.2020 №1270 и от 26 февраля 2021 №252 установлены нормативы состава сточных вод для абонентов централизованной системы водоотведения [9, 10]. Нормативы состава сточных вод установлены, в том числе, по:

взвешенные вещества – 300 мг/дм³;

нефтепродукты (нефть) – 2,0 мг/дм³;

ХПК – 190 мг/дм³;

$БПК_{полн}$ – 280 мг/дм³.

В соответствии с [11] в случае если сточные воды, принимаемые от абонента в централизованную систему водоотведения, содержат загрязняющие вещества, концентрация которых превышает установленные нормативы состава сточных вод, абонент обязан внести организации, осуществляющей водоотведение, плату за сброс загрязняющих веществ в составе сточных вод сверх установленных нормативов состава сточных вод.

Сравнение нормативов состава сточных вод по взвешенным веществам, нефтепродуктам, ХПК, $БПК_{полн}$ [9, 10] с примерным составом поверхностных сточных вод для различных территорий и примерной характеристикой дождевых сточных вод по основным показателям загрязнения для предприятий первой и второй групп [6] указывает на превышение нормативов по рассматриваемых загрязнителям и необходимость очистки поверхностного стока с помощью локальных очистных сооружений.

Выбор технологической схемы очистки поверхностного стока определяется его количественной и качественной характеристиками (наличием загрязняющих веществ, в том числе специфических, категорией водного объекта). Степень очистки стока зависит от дальнейшего использования воды: в производственных целях, сброс в городской коллектор или в водный объект.

Хозяйственная и иная деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, юридических и физических лиц, оказывающая воздействие на окружающую среду, должна осуществляться на основе ответственность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления за обеспечение благоприятной окружающей среды и экологической безопасности на соответствующих территориях; обеспечение снижения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в соответствии с нормативами в области охраны окружающей среды, которого можно достигнуть на основе использования наилучших доступных технологий с учетом экономических и социальных факторов [12], что достигается, в том числе, правильным сбором с территории поверхностного стока и его дальнейшей очистки до установленных нормативов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИТС 10-2015 "Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов" (утв. Приказом Росстандарта от 15.12.2015 N 1580).
2. ИТС 10-2019 "Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов" (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2019 г. N 2981).
3. ГОСТ Р 59205-2021 "Дороги автомобильные общего пользования. Охрана окружающей среды. Технические требования".
4. ОДМ 218.3.031-2013 "Методические рекомендации по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог".
5. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. - М., СоюздорНИИ, 1995.
6. Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. - Москва: ОАО «НИИ ВОДГЕО», 2014. - 88 с.
7. Пшенин, В.Н. Ливневые стоки с автомобильных дорог / В.Н. Пшенин, М.С. Бутянов // Дорожная держава. - 2013. - №48. - С. 72-75.
8. Распоряжение Правительства РФ от 08.07.2015 N 1316-р "Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды".
9. Постановление администрации г. Пензы от 10 сентября 2020 г. № 1270 "Об установлении нормативов состава сточных вод для абонентов централизованной системы водоотведения".
10. Постановление администрации г. Пензы от 26 февраля 2021 №252 "Об установлении нормативов состава сточных вод для абонентов централизованной системы водоотведения".
11. Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации".
12. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ.

УДК 629.05

Баннов[1] В.Я., Мамыкин[2] А.П., Соловьев[3] В.А., Трусов[4] В.А., Васюнин[5] Д.И.
[1,2,3,4,5] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1] bvy@bk.ru
[2] sanyamamukin@gmail.com
[3] kipra@pnzgu.ru

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация. В данной работе рассматриваются актуальные проблемы кибербезопасности в автомобильной промышленности, анализируются потенциальные угрозы и их последствия, а также предлагаются меры защиты, которые могут быть предприняты автопроизводителями, поставщиками и автовладельцами.
Ключевые слова: кибербезопасность, автомобиль, кибератаки, защита, блокчейн, искусственный интеллект, стандартизация, осведомленность, сотрудничество

Bannov[1] V.Ya., Mamykin[2] A.P., Soloviev[3] V.A., Trusov[4] V.A., Vasyunin[5] D.I.
[1,2,3,4,5] Penza State University, Penza, Russia
[1] bvy@bk.ru
[2] sanyamamukin@gmail.com
[3] kipra@pnzgu.ru

CYBERSECURITY OF CARS

Annotation. This paper examines the current problems of cybersecurity in the automotive industry, analyzes potential threats and their consequences, and suggests protective measures that can be taken by automakers, suppliers and car owners.
Keywords: cybersecurity, car, cyber-attacks, protection, blockchain, artificial intelligence, standardization, awareness, cooperation

Введение

Современные автомобили уже давно перестали быть просто средством передвижения. С каждым годом они всё больше оснащаются электронными системами и программным обеспечением, превращаясь в сложные компьютерные системы на колесах. Эта растущая зависимость от электроники, с одной стороны, делает автомобили более комфортными, функциональными и безопасными. С другой стороны, автомобили становятся более уязвимыми для хакерских атак.

Таким образом, кибербезопасность в автомобильной промышленности становится все более актуальной проблемой, требующей комплексного подхода к ее решению.

Угрозы кибербезопасности в автомобильной промышленности

Современные автомобили, оснащенные множеством электронных систем и подключенные к интернету, подвержены различным типам киберугроз.

Злоумышленники могут использовать уязвимости в программном обеспечении бортовых систем, таких как операционная система, системы управления двигателем, системы помощи водителю, информационно-развлекательные системы, для получения доступа к ним и контроля над ними.

Злоумышленники также могут манипулировать системами управления автомобилем, такими как тормоза, рулевое управление, система автоматического экстренного торможения, для создания опасных ситуаций на дороге или даже для угона автомобиля.

Хакеры могут перехватывать данные, передаваемые между автомобилем и другими устройствами, например, смартфоном, серверами автопроизводителя или другими транспортными средствами. Это может быть информация о местоположении, маршрутах движения, скорости, техническом состоянии автомобиля, а также персональные данные водителя и пассажиров [1].

Для этого могут быть использованны различные методы. Бортовые системы автомобиля могут заражаться вредоносным ПО, которое позволяет получить доступ к системам автомобиля, украсть данные или манипулировать его функциями. Хакеры могут использовать специальные устройства для перехвата радиосигналов между автомобилем и другими устройствами, например, ключом зажигания, брелоком сигнализации или другими транспортными средствами. Также могут использоваться уязвимости в сетевых подключениях автомобиля для получения удаленного доступа к его системам и управления им [1],[2].

Помимо этих методов, киберпреступники также могут использовать методы социальной инженерии, такие как фишинг и сбрутфорс, для получения доступа к конфиденциальной информации или взлома бортовых систем [3].

Последствия кибератак на автомобили

Кибератаки на автомобили могут иметь серьезные последствия для людей, имущества и инфраструктуры: взлом систем управления автомобилем, таких как тормоза или рулевое управление, может привести к авариям с серьезными последствиями для

водителей, пассажиров и других участников дорожного движения; кража персональных данных, хранящихся в бортовых системах автомобиля, может привести к мошенничеству, краже средств с банковских счетов или другим финансовым потерям [3]; кибератаки на автомобили могут привести к сбоям в работе транспортных систем, что может негативно сказаться на экономике в целом [4]; киберпреступники могут использовать свой доступ к бортовым системам автомобиля для его угона или использования в своих преступных целях.

В последние годы уже были зафиксированы случаи кибератак на автомобили. За период с 2010 по 2020 годы было зарегистрированно 633 кибератаки [5].

В 2015 году хакеры взломали систему Fiat Chrysler Uconnect, что позволило им дистанционно управлять некоторыми функциями автомобиля, такими как кондиционер и радио. После этого, при помощи вредоносного ПО, была взломана система Tesla Model S, что позволило злоумышленникам открыть двери автомобиля и запустить двигатель [6].

В 2017 году была взломана система Uber, что позволило хакерам получить доступ к данным о местоположении водителей и пассажиров [6].

В 2021 году была обнаружена уязвимость в мобильном приложении Hyundai, которая позволила автоугонщикам легко завладевать машинами [7].

В России в 2022 году в даркнете начали предлагать услуги по удаленному взлому автомобилей [5].

В 2023 году в США появился новый метод угона автомобилей с помощью телефонов Nokia. Этот метод угона позволяет вору даже без технического опыта угонять автомобили без ключа за 10-15 секунд [7].

Кибербезопасность в автомобильной промышленности поднимает ряд этических проблем. Автопроизводители и поставщики автомобильных компонентов должны защищать персональные данные водителей и пассажиров от несанкционированного доступа.

Кто должен нести ответственность за ущерб, причиненный кибератаками на автомобили? Автопроизводители, поставщики автомобильных компонентов, автовладельцы или государства?

Как сбалансировать стремление к защите автомобилей от кибератак с сохранением свободы и безопасности людей?

Решение этих этических проблем потребует совместных усилий автопроизводителей, поставщиков автомобильных компонентов, правительств и общества в целом.

Меры по обеспечению кибербезопасности в автомобильной промышленности

Автопроизводители и поставщики автомобильных компонентов должны предпринять ряд мер для защиты своих продуктов от кибератак:

при разработке программного обеспечения и бортовых систем необходимо использовать методы обеспечения безопасности, такие как анализ кода, тестирование на проникновение и шифрование данных [1],[2]; автопроизводители и поставщики должны регулярно выпускать обновления программного обеспечения для своих продуктов, чтобы устранять выявленные уязвимости; все данные, передаваемые между автомобилем и другими устройствами, должны быть зашифрованы, чтобы защитить их от перехвата и несанкционированного доступа [1],[2],[3]. для доступа к бортовым системам автомобиля должны использоваться надежные методы аутентификации и авторизации, такие как многофакторная аутентификация; сотрудники автопроизводителей и поставщиков должны проходить обучение по вопросам кибербезопасности, чтобы они знали, как распознавать и реагировать на кибератаки [7].

Автовладельцы также могут предпринять ряд мер для защиты своих автомобилей от кибератак, такие как регулярная установка обновления программного обеспечения для бортовых систем автомобиля; использование надежных паролей и методов многофакторной аутентификации для доступа к бортовым системам автомобиля; избегание подключения к ненадежным сетям wi-fi; а также, установка антивирусного программного обеспечения на смартфон или другое устройство, которое используется для подключения к автомобилю [3].

Помимо этого, необходимо быть внимательным к любым подозрительным сообщениям или действиям, связанным с автомобилем, и немедленно сообщать о них автопроизводителю или поставщику автомобильных компонентов. Автовладельцам также следует следить за новостями о киберугрозах в автомобильной промышленности и быть готовыми к реагированию на кибератаки [3],[7].

Будущее кибербезопасности в автомобильной промышленности

В связи с ростом киберугроз в автомобильной промышленности разрабатываются новые технологии и подходы для обеспечения кибербезопасности автомобилей:

технология блокчейн может быть использована для защиты данных, хранящихся в бортовых системах автомобиля, от несанкционированного доступа и изменения [3].

искусственный интеллект может быть использован для обнаружения и предотвращения кибератак на автомобили. Системы, основанные на ИИ, могут анализировать

большие объемы данных в режиме реального времени для выявления подозрительной активности и предотвращения кибератак до того, как они нанесут ущерб [7].

архитектура с нулевым доверием предполагает, что ни одному устройству или пользователю не предоставляется доступ к ресурсам системы по умолчанию. Доступ предоставляется только после проверки подлинности и авторизации [7].

Несмотря на наличие перспективных технологий, для обеспечения долгосрочной кибербезопасности автомобилей необходимо решить ряд проблем. В настоящее время не существует единых стандартов кибербезопасности для автомобильной промышленности. Это затрудняет разработку и внедрение эффективных мер защиты [4].

Необходимо повысить осведомленность о киберугрозах в автомобильной промышленности среди автопроизводителей, поставщиков и автовладельцев.

Для разработки и реализации эффективных решений в области кибербезопасности необходимо тесное сотрудничество между правительствами, отраслью и академическими кругами. Решение этих проблем потребует значительных усилий и инвестиций, но оно необходимо для обеспечения безопасности автомобилей в будущем.

Заключение. Кибербезопасность в автомобильной промышленности - это не просто вопрос удобства, это вопрос безопасности. По мере того, как автомобили становятся все более зависимыми от электроники и программного обеспечения, они также становятся более уязвимыми для кибератак.

Последствия кибератак на автомобили могут быть серьезными, включая угрозу жизни и здоровью людей, финансовый ущерб и сбои в работе транспортных систем. Поэтому обеспечение кибербезопасности в автомобильной промышленности является жизненно важной задачей, которая требует совместных усилий автопроизводителей, поставщиков, правительств и автовладельцев:

автопроизводители и поставщики должны разрабатывать безопасные автомобили и компоненты, регулярно обновлять программное обеспечение и устранять уязвимости.

правительство должно разрабатывать и внедрять стандарты кибербезопасности, повышать осведомленность о киберугрозах и поддерживать исследования и разработки в области кибербезопасности.

автовладельцы должны следить за обновлениями программного обеспечения, использовать надежные пароли и методы аутентификации, а также быть внимательными к подозрительным сообщениям или действиям, связанным с их автомобилями.

Новые технологии и подходы, такие как использование блокчейна, искусственного интеллекта и архитектуры с нулевой доверием, могут помочь повысить уровень кибербезопасности автомобилей. Только совместными усилиями мы сможем сделать автомобили будущего безопасными и надежными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kaspersky ICS CERT. Кибербезопасность в автомобильной промышленности: как обеспечить соответствие положениям ЕЭК ООН [Электронный ресурс]. URL: https://ics-cert.kaspersky.com/ru/reports/2023/03/22/ (дата обращения: 10.05.2024).

2. Kaspersky ICS CERT. Кибербезопасность в автомобильной промышленности: как обеспечить соответствие положениям ЕЭК ООН [PDF-версия]. URL: https://ics-cert.kaspersky.com/ru/reports/2023/03/22/ (дата обращения: 10.05.2024).

3. Dzen. Кибербезопасность в автомобильной промышленности: как обеспечить соответствие положениям ЕЭК ООН [Электронный ресурс]. URL: https://zen.yandex.ru/media/id/5d8b73a96c8bcb00ae3c8e77/ (дата обращения: 10.05.2024).

4. Верхельст Э. и Воутерс Дж. Глобальное управление в сфере кибербезопасности: взгляд с позиции международного права и права ЕС [Электронный ресурс]. URL: https://www.cambridge.org/core/journals/european-journal-of-international-law/article/abs/global-governance-in-cybersecurity-a-view-from-international-law-and-eu-law/ (дата обращения: 10.05.2024).

5. Князева, А. Хакеры уже атакуют автомобили. Каких кибератак стоит бояться? [Электронный ресурс]. URL: https://420on.cz/magazine/technology/68985-hakery-uzhe-atakuyut-avtomobili-kakih-kiberatak-stoit-boyatsya (дата обращения: 10.05.2024)1.

6. Развитие киберугроз в автоиндустрии [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/articles/794344/ (дата обращения: 10.05.2024)2.

7. Борьба с автомобильными кибератаками — шведская лаборатория RISE Cyber [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/articles/704644/ (дата обращения: 10.05.2024)3.

УДК 629.05

Бейсембаева Б.С.
Академия гражданской авиации, Алма-Ата, Казахстан
b.beisembayeva@agakaz.kz

МНОГОКАНАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Аннотация. Предложена и детально обоснована структурная схема информационно-измерительной системы для теплофизического проектирования радиоэлектронных средств и электронных модулей. Обоснована ее информационная модель.
Ключевые слова: теплофизическое проектирование, моделирование, измерение, температура, температурное поле, информационно-измерительная система

Beisembayeva B.S.
Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan
b.beisembayeva@agakaz.kz

MULTI-CHANNEL INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR THERMOPHYSICAL DESIGN

Annotation. A block diagram of an information and measurement system for the thermophysical design of radioelectronic devices and electronic modules is proposed and substantiated in detail. Its information model is justified.
Keywords: thermophysical design, modeling, measurement, temperature, temperature field, information and measurement system

Новые научно-технические задачи в области конструкторско-технологического проектирования ставят и новые цели в области создания средств измерения. Тем самым за счет повышения точности измерений, увеличения числа выполняемых функций и производительности измерительных операций достигается новый уровень измерительной техники. В современных условиях для многих измерений, проводимых входе конструкторско-технологического проектирования необходимы не просто измерительные приборы, а полноценные информационно-измерительные системы. К одним из таких задач относится измерение температуры в различных узлах проектируемого радиоэлектронного средства. Как доказывает практика проектирования, в реальном приборе крайне неэффективно использование простых измерителей температуры – аналоговых или цифровых термометров. В условиях, когда необходимо снять полную картину теплового поля как на поверхности прибора, так и внутри и при этом многократно повторить эксперимент при разных граничных и начальных условиях требуется глубокая автоматизация процесса измерения.

Необходимо отметить, что сведения о температурном поле крайне важны при осуществлении процесса теплофизического проектирования и конструирования. Под теплофизическим проектированием (ТФП) будем понимать процесс получения необходимых параметров температурного поля в конструкции радиоэлектронного средства (РЭС) или электронного модуля (ЭМ), заключающийся в выборе конкретных проектных решений, которые учитывая функциональные и конструктивно-технологические ограничения позволяют, с высокой степенью вероятности, обеспечить, заданное, оптимальное по какому-либо критерию или группе критериев, пространственно-временное распределение температуры. Решение задач ТФП лежит в парадигме построения тепловых, математических моделей и натурного эксперимента. Модели описывают процессы теплообмена в РЭС или ЭМ. При этом сведения, полученные путем натурного эксперимента, позволяют подтвердить или повысить адекватность моделей. Таким образом, важной задачей является обеспечение достоверности натурного эксперимента в ТФП.

Применение информационно-измерительной системы (ИИС) позволяет максимально эффективно решить эту задачу. Современная информационно-измерительная система, отвечающая **требованиям** методологии построения информационно-измерительных и управляющих систем (ИИиУС), является ярким представителем сложных технических систем. Это доказывается тем, что любая ИИС представляет собой, ни что иное как симбиоз средств измерения и набора технических средств, совокупность которых обеспечивает решение конкретной измерительной задачи [1]. При этом объединения всех составляющих ИИС должно осуществляться по системному принципу, т.е. все компоненты ИИС должны обладать конструктивной и функциональной автономностью. Последнее обеспечивается наличием в составе ИИС вычислительного устройства. Учитывая эту, характерную особенность ИИС, перейдем к разработке ее структурной схемы.

На основе методологии построения информационно-измерительных систем разработать структурную схему и информационную модель многоканальной информационно-измерительной системы, предназначенной для измерения температуры как контактным, так и бесконтактным способом.

Методология построения ИИиУС, подразумевает, что основным назначением произвольной ИИиУС является получение от объекта и доставка до потребителя необходимого количества информации с заданной точностью и уровнем адекватности, т.е. с заданными и контролируемыми показателями качества. [1]. Проведенный анализ показал, что современную ИИиУС можно представить как комплекс средств, включающий аппаратно-программное обеспечение, математическое и метрологическое обеспечение (рисунок 1).

Аппаратно-программное обеспечение с помощью первичных измерительных преобразователей проводит измерение искомого параметра. Затем обеспечивается обработка, хранение и отображение результатов измерений. Программное обеспечение предназначено для контроля за работой аппаратных подсистем.



Рисунок 1 – Обобщённый состав ИИиУС

В общем виде, структурная схема информационно-измерительной системы выглядит так как показано на рисунке.

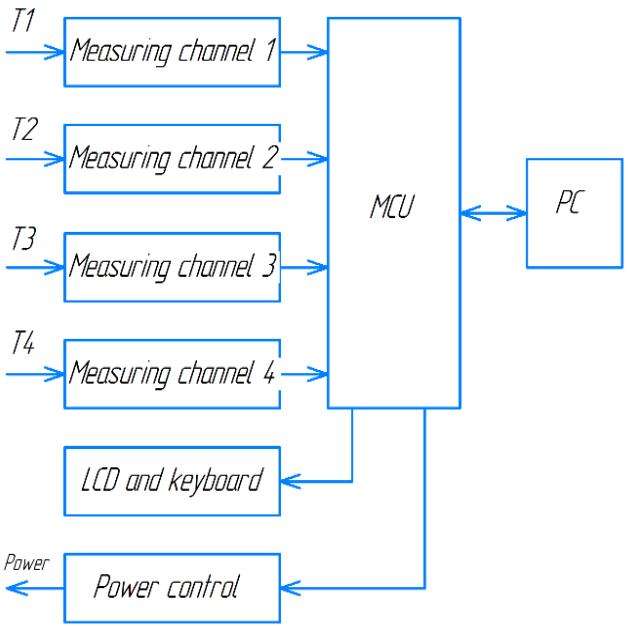


Рисунок 2 - Обобщенная структурная схема информационно-измерительной системы

Разукрупняя обобщенную схему информационно-измерительной системы предназначенной для измерения температуры как контактным, так и бесконтактным способом,

более подробно выделяем ее составные части. В результате получаем структуру многоканальной ИИС, приведенной на рисунке 3.

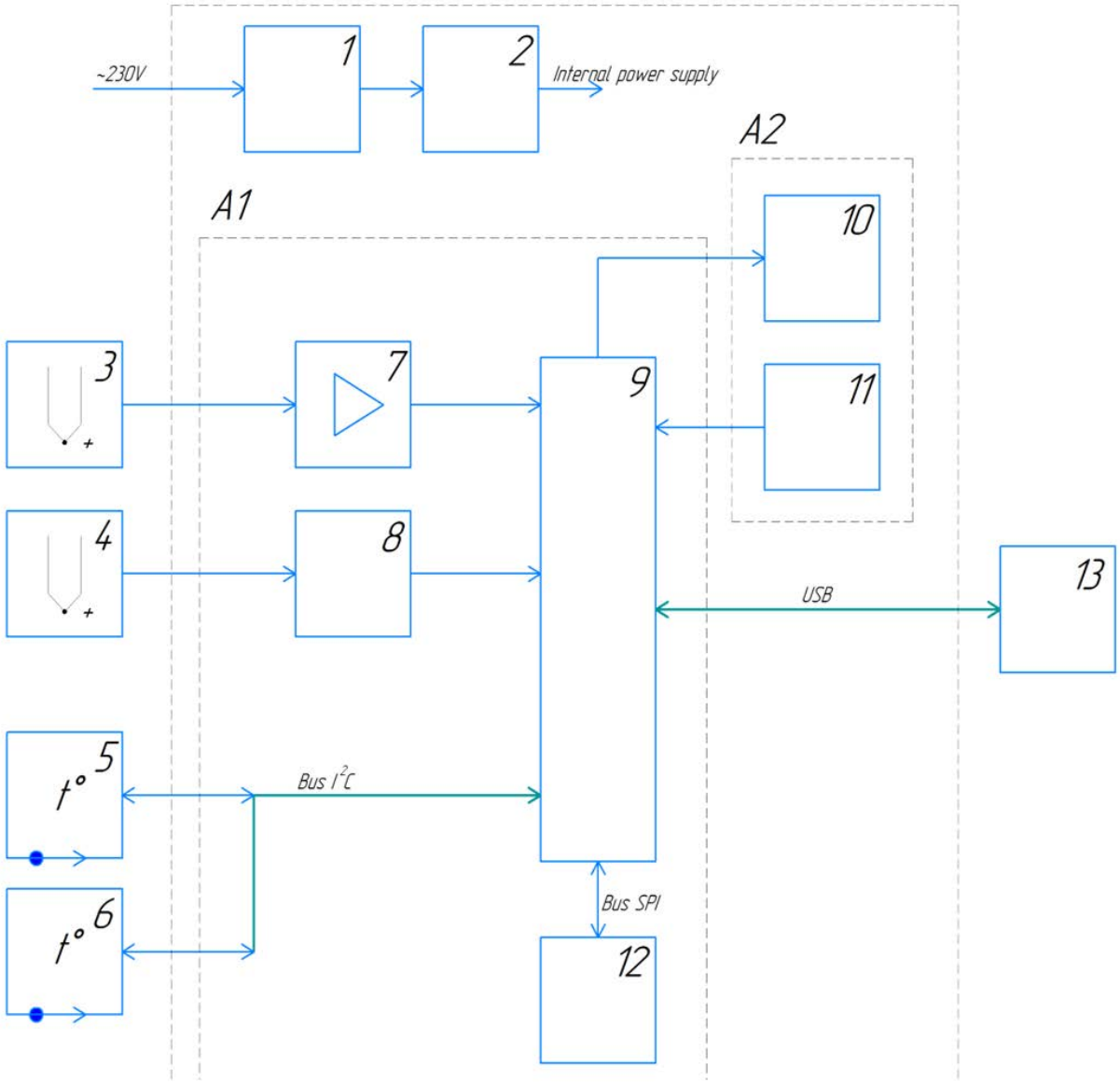


Рисунок 3 - Разукрупненная структура информационно-измерительной системы

Рассмотрим составные части данной схемы:

1 - AC/DC converter.
2 - Стабилизатор постоянного тока.
3 - Аналоговая термопара.
4 - Цифровой контактный датчик температуры.
5, 6 - Бесконтактные измерители температуры.
7 - Усилитель сигнала термопары.
8 - Цифровой интерфейс.
9 - Центральное вычислительное устройство.
10 - Устройство индикаторное.
11 - Клавиатура.
12 - Энергонезависимое устройство памяти.
13 - PC.

Все приведенные выше составные части информационно-измерительной системы разделены на два функциональных модуля. Измерительные функции и функции по обработке измерительной информации возложены на модуль А1 (модуль сбора и обработки данных). Локальное управление и индикация режим работы информационно-измерительной системы обеспечивается блоками входящими в состав модуля А2 (модуль локального управления и индикации).

В результате дальнейшей декомпозиции структуры информационно-измерительной системы получаем более детальную структурную схему проектируемой системы (рисунок 4). Такая детализация позволяет более наглядно оценить функциональные особенности проектируемой системы и, в последующем, в ходе реализации системы, перейти к решению принципиальных, схемотехнических вопросов. Блок 1

представляет собой коммутатор или мультиплексор (MUX1) коммутирует, по сигналу микроконтроллера (MCU) данные о температурном поле объекта ΔT от двух бесконтактных измерителей температуры. В каждый момент времени на выходе MUX1 присутствует сигнал только от одного измерителя. Блок два преобразует данные о температурном поле объекта, с учетом разрешения, в цифровой код, который подаётся в блок 9. Последний, представляет собой отключаемую линию задержки сигнала с возможностью регулировки времени задержки.

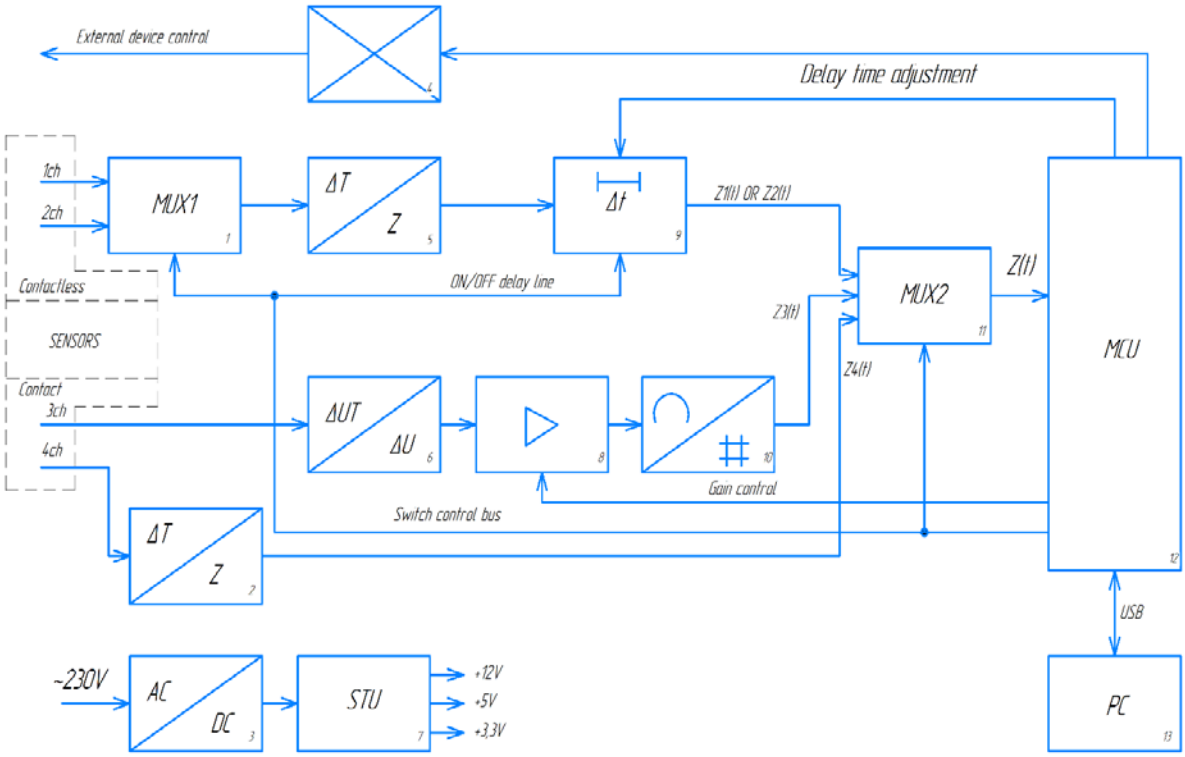


Рисунок 4 - Детальная структурная схема многоканальной информационно-измерительной системы

В блоке 6 преобразуется, для последующего усиления, термо ЭДС ΔUT термопары в напряжение ΔU. Усиление этого напряжения осуществляет специализированный усилитель с регулируемым коэффициентом усиления – блок 8. Далее увеличенное до нужного уровня напряжение проходит еще одно преобразование - дискретизацию в аналого-цифровом преобразователе (блок 10).

В блоке 7 осуществляется прямое преобразование температуры ΔT исследуемого объекта, полученное контактным способом, в цифровой код Z. Этот код поступает на коммутатор или мультиплексор MUX2 – блок 11. На оставшиеся два входа MUX2 подаются цифровой код с одного из бесконтактных измерителя температуры и оцифрованное значение температуры термопары. Синхронизация работы MUX1 и MUX2 обеспечивается MCU таким образом, что каждый из четырех измерительных каналов опрашивается 20 раз в секунду. Тем самым создается полная картина распределения температуры исследуемого объекта. Блок 4 представляет собой исполнительное устройство, предназначенное для управления состоянием исследуемого объекта, чьё температурное поле определяется.

Исходя из полученной структурной схемы многоканальной информационно-измерительной разработаем ее информационную модель. Основываясь на основных целях измерений, сформулированных в [3], разработанная система, путем прямых измерений позволяет находит значения температуры исследуемого объекта. В этом случае информационная модель при измерении независимых входных величин температуры имеет вид:

$$Z = \{[Z_1], [Z_2], [Z_3], [Z_4]\},$$

где Z_1 - значение температуры полученное при бесконтактном измерении в первом измерительном канале; Z_2 - значение температуры полученное при бесконтактном измерении во втором измерительном канале; Z_3 - значение температуры полученное при измерении контактным способом в третьем измерительном канале; Z_4 - значение температуры полученное при измерении контактным способом в четвертом измерительном канале.

При невозможности раздельного измерения температуры, например исследуемый объект имеет относительно малые размеры или форма поверхности объекта не позволяет делать независимые измерения, модель приобретает вид:

$$Z_G = (Z_{q1}, Z_{q2}, Z_{q3}, Z_{q4}).$$

Структурная схема, также позволяет исследовать тепловые процессы в динамике, например темп нагрева, темп охлаждения и т.п. В этом случае модель имеет вид:

$$Z(t) = Z_1(t_1), Z_2(t_2), Z_3(t_3), Z_4(t_4),$$

при этом должно выполняться условие:

$$t_1 = t_2 = t_3 = t_4.$$

Из условия следует, что все измерительные каналы должны быть синхронизированы. С учетом инерционности температурных процессов [4] эта задача требует отдельного схемотехнического решения.

Таким образом, полная информационная модель для разработанной структурной схемы имеет вид:

$$\left.\begin{cases} Z = \{[Z_1], [Z_2], [Z_3], [Z_4]\}, \\ Z_G = (Z_{q1}, Z_{q2}, Z_{q3}, Z_{q4}), \\ Z(t) = Z_1(t_1), Z_2(t_2), Z_3(t_3), Z_4(t_4). \end{cases}\right\}$$

Таким образом, разработанная в исследовании многоканальная информационно-измерительная система позволяет с высокой вероятностью обеспечить достоверность натурного эксперимента, проводимого в рамках теплофизического проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров О.Ю. Моделирование и алгоритмизация теплофизического проектирования в САПР БИС. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Воронеж, 1994г.19с.

2. Рубичев Н.А. Измерительные информационные системы / Н.А. Рубичев. – М. : Дрофа, 2010 – 334 с.

3. Макаров О.Ю. Сквозное тепловое проектирование в интегрированных САПР микроэлектронных устройств. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 1999. 161 с.

4. Дульнев, Г. Н. Методы расчета теплового режима приборов / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. – Москва : Научно-техническое издательство "Радио и связь", 1990. – 312 с. – ISBN 5-256-00749-1.

5. Бобылкин, И. С. Оптимизация тепловых характеристик при проектировании конструкций радиоэлектронных средств / И. С. Бобылкин, О. Ю. Макаров // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2013. – Т. 2. – С. 121-122.

6. Борщев, Н. О. Метод идентификации теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов, предназначенных для термостатирования аппаратуры в условиях невесомости / Н. О. Борщев // Надежность и качество сложных систем. – 2023. – № 4(44). – С. 130-141. – DOI 10.21685/2307-4205-2023-4-12.

7. Мадера, А. Г. Иерархический подход при тепловом проектировании электронных изделий / А. Г. Мадера // Программные продукты и системы. – 2008 –№ 4 – С. 43–46.

8. Гришко, А. К. Математическое моделирование системы обеспечения тепловых режимов конструктивно- функциональных модулей радиоэлектронных комплексов / А. К. Гришко, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Проектирование и технология электронных средств. – 2015. – № 3. – С. 27-31.

9. Горячев, Н. В. Совершенствование структуры современного информационно-измерительного комплекса / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Инновационные информационные технологии. – 2013. – № 2-3. – С. 433-436.

10. Дульнев, Г. Н. Методы расчета теплового режима приборов / Г.Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. – М.: Радио и связь, 1990 – 240 с.

11. Евдулов, О. В. Расчет процессов теплообмена в термоэлектрической системе для охлаждения единичных элементов радиоэлектронной аппаратуры / О. В. Евдулов, А. М. Ибрагимова // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2023. – Т. 2. – С. 187-193.

12. Тартаковский, А. М. Краевые задачи в конструировании радиоэлектронной аппаратуры / А. М. Тартаковский. – Саратов : Изд-во Саратовского ун-та, 1984 – 132 с.

13. Application of the model of the printed circuit board with regard to the topology of external conductive layers for calculation of the thermal conditions of the printed circuit board / I. M. Rybakov, N. V. Goryachev, I. I. Kochegarov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk, 21–26 сентября 2016 года. – Bristol: IOPscience, 2017. – P. 012130. – DOI 10.1088/1742-6596/803/1/012130.

14. Дульнев, Г. Н. Основы теории тепломассообмена : Учебное пособие / Г. Н. Дульнев, С. В. Тихонов. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2010. – 93 с.

15. Конструкционные и физические принципы выбора датчиков теплового контроля / Д. В. Плотников, В. Ю. Володин, В. Б. Невокшанов [и др.] // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2023. – Т. 1. – С. 52-57.

16. Горячев, Н. В. Подсистема расчета средств охлаждения радиоэлементов в интегрированной среде проектирования электроники / Н. В. Горячев, И. Д. Граб, А. А. Рыжов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 4(16). – С. 25-30.

УДК 629.05

Дерябин Д.В.

Научно-исследовательский институт электромеханических приборов, Пенза, Россия

kipra@pnzgu.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОТРЕНИРОВКИ ВАКУУМНЫХ ИЗДЕЛИЙ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРА СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ

Аннотация. Предложена технология электротренировки вакуумных изделий военной техники на основе генератора сверхкоротких импульсов и структура информационно-измерительной и управляющей системы автоматической накачки азота, обеспечивающей эффективную работы генератора.

Ключевые слова: электротренировка, вакуумные коммутирующие изделия, проектирование, моделирование, измерение, давление, импульс, информационно-измерительная и управляющая система

Deryabin[1] D.V.

Research Institute of Electromechanical Devices, Penza, Russia

kipra@pnzgu.ru

TECHNOLOGY OF ELECTRIC TRAINING OF VACUUM PRODUCTS OF MILITARY EQUIPMENT BASED ON AN ULTRASHORT PULSE GENERATOR

Annotation. The technology of electric training of vacuum military equipment products based on an ultrashort pulse generator and the structure of an information measuring and control system for automatic nitrogen pumping, which ensures efficient operation of the generator, are proposed.

Keywords: electrical training, vacuum switching products, design, modeling, measurement, pressure, pulse, information measuring and control system

Вакуумные электронные приборы являются разновидностью электровакуумных приборов. Основным их отличием является движение электронов в безвоздушной среде (вакууме). Их конструкция достаточно проста. Такие приборы представляют из себя герметично запаянные сосуды из самых разных материалов (стекло, металл, керамика), из которых, насколько это возможно, удаляется весь воздух, тем самым создавая искомый вакуум. Внутри сосуда располагаются электроды, имеющие связь с внешними контактами прибора путем использования стеклянных или керамических изоляторов. В процессе откачки воздуха из сосуда, его внутренняя поверхность и находящиеся там компоненты прогреваются в целях максимально полного удаления абсорбированных газов, так как экспериментально проверено и подтверждено, что чем больше газов останется внутри, тем меньший срок службы будет у вакуумного прибора.

Большое внимание, уделяемое исследователями и технологами вопросу повышения электрической прочности вакуумного промежутка и снижения темновых токов и самих высоковольтных электровакуумных приборов, определяют актуальность предлагаемой работы. Повышение удельных параметров высоковольтных электровакуумных приборов и их надежности является важной научно-практическая задачей. Резервы повышения надежности электронных вакуумных приборов (ЭВП), их электрической прочности, уменьшения электронных токов проводимости заложены в реализации технологии обработки электродов в вакууме наносекундными высоковольтными импульсами.

Таким образом актуальным направлением исследований является совершенствование технологии изготовления, технологий электротренировки и повышение технологичности электронных вакуумных приборов ответственного назначения (повышенной надежности), за счет сокращения количества пробоев в эксплуатационный период.

Современное состояние исследований в данной области науки, сравнение ожидаемых результатов с мировым уровнем. Исследованием вакуумного пробоя между металлическими электродами при подаче на них наносекундных импульсов напряжения занимались академик Месяц Г.А., профессор Проскуровский Д.И, Янкелевич Е.Б., профессор Емельянов А.А. и др. Большой вклад в исследования сорбционных явлений в вакууме внес кандидат технических наук Черепнин Н.В.

За рубежом важнейшие результаты по вакуумному пробою получены Denholm A.S., JuttnerB.,Latam R.E. и др.

В НИИЭМП г. Пенза под руководством д.т.н., профессора Буца В.П. проводились исследования импульсной электрической прочности вакуумных промежутков, образованных медными цилиндрическими электродами. Во всех работах было отмечено увеличение электрической прочности вакуумного промежутка после обработки (тренировки) электродов импульсами напряжения наносекундной длительности. Однако, работ по исследованию электрической прочности и разработке технологических процессов изготовления электронных вакуумных приборов (ЭВП) - вакуумных конденсаторов и вакуумных коммутирующих устройств (ВКУ) тренировки электроимпульсами наносекундной длительности проведено не было. Не установлена зависимость результатов тренировки контактов и выводов вакуумных коммутационных приборов от

многих факторов: расстояния между электродами, материала электродов, их конфигурации, условий откачки и обезгаживания, параметров импульсов, сопротивления нагрузки, предварительной обработки электродов, формы импульсов, соотношения величин напряжений тренировки и номинального напряжения и др.

Целью работы является совершенствование технологии электротренировки вакуумных изделий электронной техники с применением сверхкоротких импульсов, что сокращает количество пробоев в эксплуатационный период и, тем самым обеспечивает существенное повышение надежности электронных вакуумных приборов.

Научно-практическая задача, решенная в работе - исследование и разработка научно-обоснованных технических решений и технологии изготовления электронных вакуумных приборов ответственного назначения и изделий электронной техники на их основе.

Методологической основой работы являются теория электрического пробоя газов, теория информационно-измерительных и управляющих систем, методы конструкторско-технологического проектирования электронных средств, а также отдельные гипотезы о явлении вакуумного пробоя.

Работа базируется на достижениях отечественной школы создания высоковольтных вакуумных устройств, в частности на работах Г.А. Месяца, Д.И. Проскуровского, Е.Б. Янкелевича, В.П. Буца, А.А. Емельянова, Н.В. Черепнина, А.П. Воронова.

Формализуем задачи исследования:

Анализ средств и технологий улучшения качества поверхности электродов в вакууме, методов формирования импульсов, а также методов измерения при электрическом разряде в вакууме.

Исследовать, механизм вакуумного пробоя межэлектродного промежутка, т.к. именно электрический пробой в вакууме является одним из факторов, влияющих на такие важнейшие параметры электронных вакуумных приборов, как электрическая прочность и величина темнового электронного тока.

Разработать технологию электротренировки вакуумных изделий электронной техники на основе применения сверхкоротких импульсов.

Разработать структурную схему технологического оборудования для генерации высоковольтных наносекундных импульсов с возможностью диагностики генерирующего импульс элемента.

Реализовать отдельные функциональные узлы технологического оборудования.

Улучшить эксплуатационные показатели электровакуумных приборов, такие как: электрическая прочность, нагрев при прохождении тока на высокой частоте.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

Разработана методика электротренировки ВКУ, отличающаяся применением сверхкоротких высоковольтных импульсов с длительностью фронта импульса не более 4 нс, позволяющая улучшить эксплуатационные характеристики электронных вакуумных приборов специального назначения.

Разработана методика диагностики состояния тригатронного разрядника генератора наносекундных импульсов, отличающаяся автоматизацией поддержания давления в разряднике, для гарантированного формирования импульсов наносекундной длительности, позволяющая модифицировать технологическую операцию электротренировки и уменьшить время тренировки электронных вакуумных изделий.

Разработана структурная схема технологического оборудования электротренировки электронных вакуумных приборов на основе генератора сверхкоротких импульсов, отличающаяся включением блока автоматической накачки азота в тригатронный разрядник, позволяющая улучшить технологические характеристики за счет автоматизации процесса электротренировки и контроля количества пробоев.

Для решения поставленных выше задач исследования, предложена структурная схема установки формирования высоковольтных наносекундных импульсов (генератора). В ее состав включены высоковольтный источник питания, низковольтный источник питания, зарядовое сопротивление, формирующая линия, передающие линии, низкоомная шина, разрядник, высоковольтный делитель, согласующее сопротивление и электронный вакуумный прибор. (см. рис. 1).

При срабатывании тригатронного разрядника *Р* по передающей линии $Л_2$ распространяется прямоугольный импульс напряжения длительность, которого определяется как:

$$t_{и} = 2l/v_{в}, \quad (1)$$

где l- длина формирующей линии, $v_{в}$ - скорость распространения в ней волны. Амплитудное значение импульсного тока при этом:

$$i_{макс} = U_{и}/2\rho_{в}, \quad (2)$$

где $U_{и}$ -амплитуда импульса, $\rho_{в}$ —волновое сопротивление формирующей линии.

Длительность фронта импульса, при условии согласования полного сопротивления линии и отсутствии паразитных индуктивности и емкости в разрядном контуре, определяется временем коммутации разрядника *Р*.

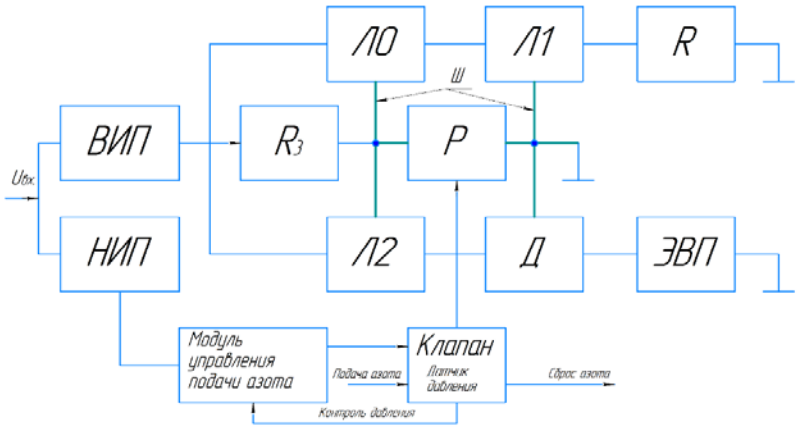


Рисунок 1 - Структурная схема генератора высоковольтных наносекундных импульсов: ВИП – высоковольтный источник питания; НИП – низковольтный источник питания; $R_З$ – зарядовое сопротивление; Л0 – формирующая линия; Л1, Л2- передающие линии; Ш – низкоомная шина; Р – разрядник; Д – высоковольтный делитель; R – согласующее сопротивление; ЭВП – электронный вакуумный прибор.

Фактически генератор представляет собой проблемно ориентированную информационно-измерительную и управляющую систему. Постоянным измерительным каналом в генераторе является канал измерения давления азота в тригатронном разряднике.

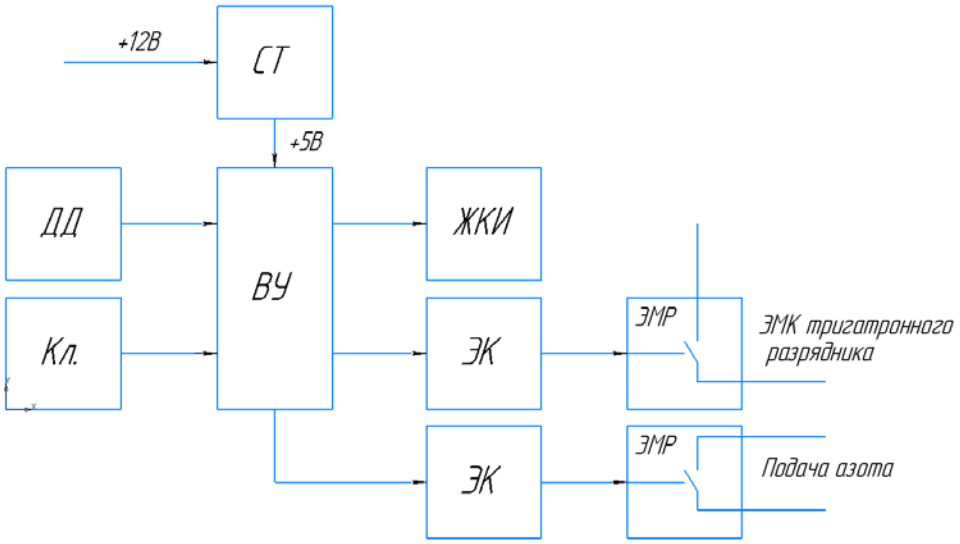


Рисунок 2 Структурная схема ИИУС АН: ДД – датчик давления; СТ – стабилизатор; ВУ – вычислительное устройство; Кл. – клавиатура; ЖКИ – жидкокристаллический индикатор; ЭК – электронный ключ; ЭМР – электромагнитное реле; ЭМК – электромагнитный клапан

Для эффективной работы тригатронного разрядника в схеме, приведенной на рисунке 1, необходимо обеспечить изоляцию во внутренней полости разрядника с помощью заполнения ее азотом с обязательным контролем давления. В кабельные генераторы аналогичных приведенному на рисунке 1 для этого использовался стрелочный манометр типа МД1. Контроль за давлением азота, осуществлялся оператором, эксплуатирующим установку. Этот контроль осуществляется по следующей процедуре – оператор вручную открывает кран резервуара с азотом и визуально по показаниям стрелочного манометра контролирует давление в разряднике, после того как давление достигло требуемой величины кран вручную закрывается. При каждом новом разряде процедура повторяется. Такая процедура реализации накачки азота не может считаться технологичной, т.к. оператору установки приходится отвлекаться на визуальный контроль и ручную регулировку давления. Тем самым назрела задача автоматизации накачки азота в тригатроном разряднике. Для решения этой задачи авторами, основываясь на современных достижениях схемотехники информационно-измерительных систем наряду с результатами развития элементной базы, предложена структурная схема модуля управления подачи азота, представляющего собой информационно-измерительную и управляющую систему автоматической накачки азота (ИИУС АН), приведенная на рисунке 2.

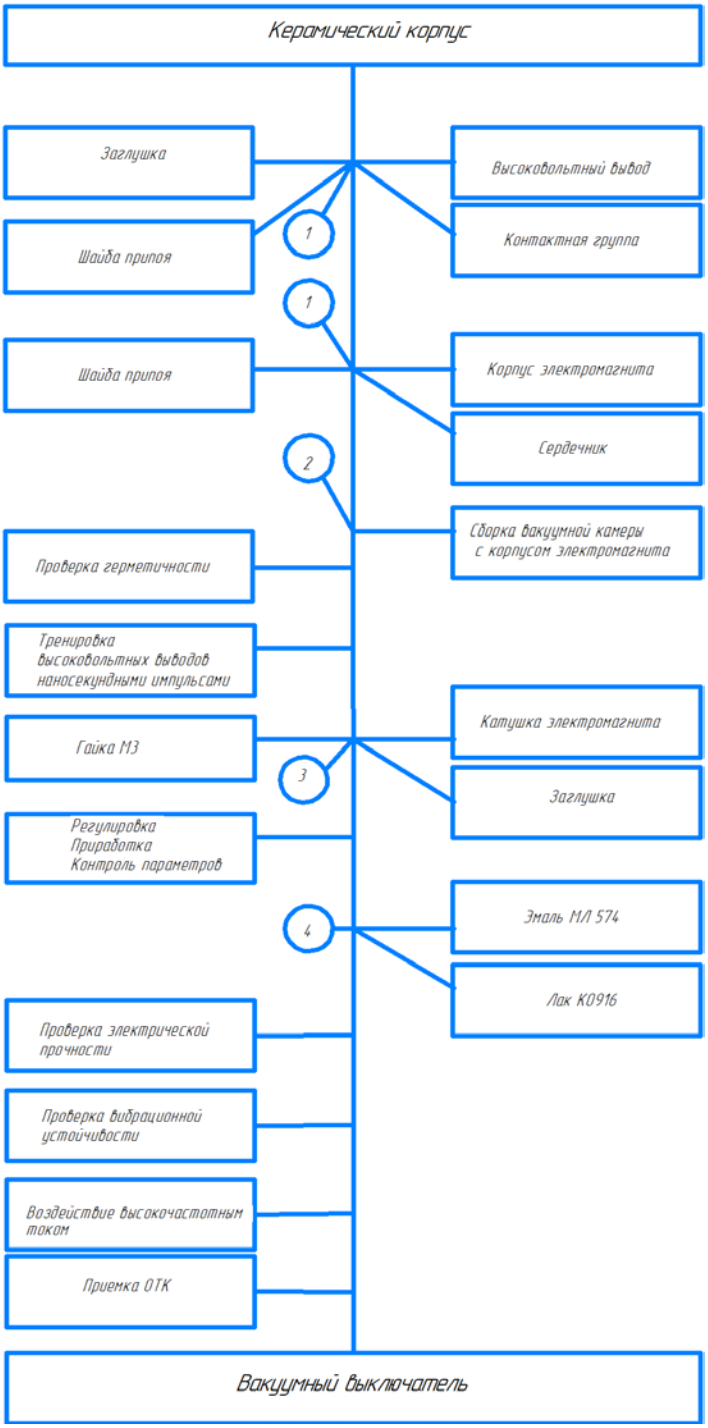


Рисунок 3 - Технология электротренировки вакуумных изделий: 1 – пайка припоем ПСР728 в атмосфере водорода; 2 – аргоно-дуговая сварка; 3 – винтовое соединение; 4 - заливка эпоксидной смолой

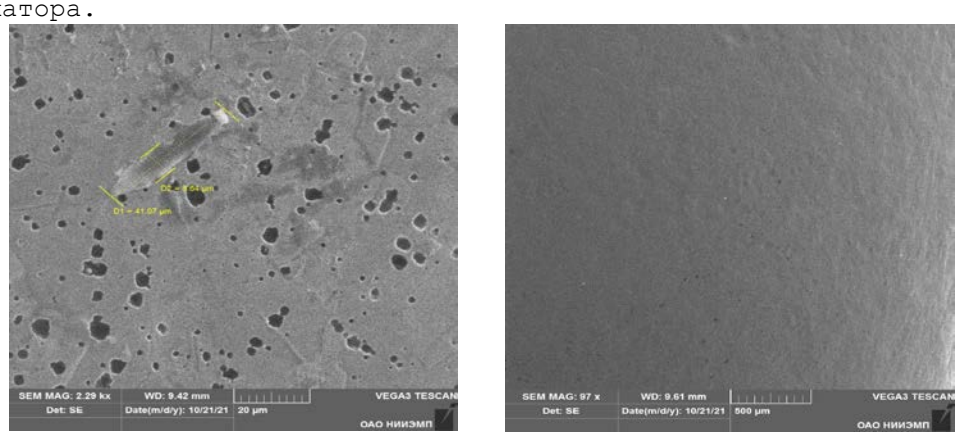
ИИУС АН состоит из восьми функциональных блоков. Девятым является датчик давления ДД, который измеряет давление во внутренней полости разрядника и передает данные о фактическом давлении в вычислительное устройство ВУ. В вычислительном устройстве обрабатываются данные фактического давления путем сравнения с предустановленным значением, требуемой величины давления азота и осуществляет управление с помощью электронного ключа электромагнитным клапаном подачи азота.

Разработано методическое обеспечение технологии электротренировки вакуумных изделий электронной техники на основе генератора сверхкоротких импульсов. Разработанная технология представлена в виде схемы на рисунке 3.

Предложенная технология включает в себя испытание вакуумного изделия электронной техники номинальным током, которое проводят на высокочастотной установке, обеспечивающей проверку переключателей при заданном режиме: - пропускаемый ток А (действительного значения); - напряжения кВ (амплитудное значение); - частота МГц.

Время испытаний по 60 мин в каждом из двух устойчивых состояний подвижного контакта. Проведена электротренировка высоким напряжением образцов электровакуумных приборов. На рисунке 5, представлена электронная фотография высоковольтного вывода вакуумного переключателя. Деталь изготовлена из материала медь марки М0Б (медь без кислородная). Деталь после изготовления путем штамповки и фрезеровки прошла обработку в галтовочной машине и была подвергнута химической полировке на участке гальваники.

Поверхность вывода покрыта значительным количество рытвин и кратеров, что делает невозможным применение детали в готовом изделии (рисунок 5,а).—Для повышения качества вывода, с применением генератора проведена электротренировка высоким напряжением. Тренировка проводилась путем подачи коротких высокого напряжения до 20 кВ , на высоковольтные вывода. Во время подъема напряжения наблюдались множественные пробои на 5 кВ,7,5 кВ,10 кВ, 15 кВ.17 кВ. При возникновении пробоев подъем напряжения прекращался до полного пропадания пробоев. После чего делалась выдержка на этом значении напряжения в течении 1 минуты и продолжался подъем напряжения до номинального. Процесс выдержки заключался в подаче импульсной последовательности со скважностью 10. Наличие пробоев фиксируется визуально и по осциллографу, вход которого индуктивно связан с низковольтным, заземленным(общим) проводником вторичной обмотки разделительного трансформатора.



а) б)

Рисунок 4 - Высоковольтный вывод переключателя: а) до тренировки высоким напряжением; б) после тренировки высоким напряжением

Результаты тренировки по представленной выше технологии, однозначно доказывают эффективность предложенной технологии и генератора - удалось существенно сократить неровности на поверхности электрода (рисунок 4,б). Таким образом, комплексное применение предложенных технологии, генератора сверхкоротких импульсов и информационно-измерительной и управляющей системы автоматизированной накачки азота в полной мере отвечает установленным показателям технологичности конструкции вакуумного коммутационного изделия и позволяет сократить количество технологических операций и уменьшить время тренировки электронных вакуумных изделий на 20…25%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месяц Г. А. Наносекундные рентгеновские импульсы.— ЖТФ, 1974, т. 44, № 7, с. 1521—1527.
2. Литвинов Е. А., Шубин А. Ф. Катодное инициирование вакуумного пробоя при постоянном напряжении.— Изв. вузов. Физика, 1974, N 11, с. 90—93.
3. Емельянова Е.А. К вопросу о повышении электрической прочности вакуумных конденсаторов / Е.А. Емельянова, В.П. Буц, А.А. Рыжов, Н.К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2011. Т. 2. С. 259-261.
4. Пичугина М.Т. Высоковольтная электротехника: учебное пособие / М.Т. Пичугина; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. - 120 с.
5. Володин П.Н. Разработка макромодели интенсивности отказов импульсного источника вторичного электропитания / П.Н. Володин // Надежность и качество сложных систем. 2017. № 3 (19). С. 43-48.
6. Проскуровский Д. И., Янкелевич Е. Б. Генератор для формирования на несогласованной нагрузке одиночных высоковольтных импульсов.— ПТЭ, 1973, № 5, с. 108—111.
7. Дерябин, Д. В. Технология обработки меди и медных сплавов электромагнитными импульсами / Д. В. Дерябин, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. - 2023. - № 2(42). - С. 51-61. - DOI 10.21685/2307-4205-2023-2-6.
8. Структура и схемотехническая реализация модуля автоматической накачки азота / Д. В. Дерябин, А.А. Акимов, В.П. Буц, Н.В. Горячев, Г.П.Разживина// Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1 (21). С. 72-78.
9. Проблемы применения вакуумных электронных приборов / Д.В. Дерябин, А.А. Акимов, Н.В. Горячев, А.А. Прошин, А.А. Рыжов// Надежность и качество сложных систем. 2019. № 1 (25). С. 62-69.
10. Качество слоя металлизации керамики марок ВК94, ВК95 / Д. В. Дерябин, Е.А. Алимова, Г.А. Смирнов, А.В. Шульгин, А.А. Ольховой// Надежность и качество сложных систем. 2018. № 2 (22). С. 55-60.

УДК 004.932.2

Григорьев[1] А.В., Чакшов[2] А.О., Бакенов[3] О.

[1,2,3] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

КРИТЕРИЙ ВЫБОРА РАДИУСА ТЕСТОВОГО ФРАГМЕНТА КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Аннотация. В статье поставлена цель выработки критерия выбора радиуса тестового фрагмента круглой формы для виброизмерительной системы, анализирующей вибрационное размытие его изображения. Актуальность поставленной цели состоит в расширении функциональных возможностей виброизмерительной системы за счет измерения как сильных вибраций, так и слабых при минимизации погрешности измерений. Для обоснования взаимосвязи радиуса тестового фрагмента и измерительной погрешности применены методы математической статистики, сегментации изображений и численного моделирования. Проведен анализ состояния вопроса измерения параметров вибраций на основе анализа размытия изображения тестового фрагмента круглой формы. Составлена примерная схема измерения параметров вибрационных процессов на основе анализа размытия изображения тестового фрагмента круглой формы. Приведено описание этой схемы. Проведен анализ вибрационного перемещения тестового фрагмента круглой формы в плоскости объекта регистрирующего устройства по гармоническому закону. Проведена реконструкция такого вибрационного перемещения, представлена и описана ее графическая интерпретация. Проведена предметно ориентированная сегментация изображения тестового фрагмента круглой формы с вибрационным размытием при прямолинейном вибрационном перемещении в плоскости объекта регистрирующего устройства. Проведен сравнительный анализ погрешности измерения площади изображения, вносимой прямоугольным сегментом и сегментами полукруглыми. Введено понятие нормированной амплитуды вибрационного перемещения, которое применяется в качестве аргумента функции приведенной погрешности, когда в качестве нормирующего значения принимается радиус тестового фрагмента круглой формы. Введено, обосновано и конкретизировано понятие эквивалентной амплитуды вибрационного перемещения по произвольной траектории. Выработана и обоснована рекомендация выбирать радиус тестового фрагмента минимальным при условии превышения им наибольшей ожидаемой эквивалентной амплитуды вибрационного перемещения исследуемого элемента вибрирующей поверхности.

Ключевые слова: вибрация, круглая метка, изображение, размытие, динамика, калибровка, информационно-измерительная система, численное моделирование

Grigoryev[1] A.V., Chakshov[2] A.O., Bakenov[3] O.

[1,2,3] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

CRITERION FOR SELECTING THE RADIUS OF A ROUND TEST FRAGMENT

Annotation. The aim of the article is to develop a criterion for choosing the radius of a round test fragment for a vibration measuring system that analyzes the vibration blur of its image. The relevance of the goal is to expand the functionality of the vibration measuring system by measuring both strong and weak vibrations while minimizing the measurement error. To substantiate the relationship between the radius of the test fragment and the measurement error, the methods of mathematical statistics, image segmentation and numerical simulation were applied. The analysis of the state of the issue of measuring vibration parameters based on the analysis of the blurring of the image of a test fragment of a round shape was carried out. An exemplary scheme for measuring the parameters of vibrational processes based on the analysis of the blurring of the image of a test fragment of a round shape has been compiled. The description of this scheme is given. An analysis of the vibrational displacement of a test fragment of a round shape in the plane of the object of the recording device according to the harmonic law was carried out. A reconstruction of such a vibrational movement has been carried out, its graphical interpretation has been presented and described. Object-oriented segmentation of the image of a test fragment of a round shape with vibrational blur was carried out during rectilinear vibrational movement in the plane of the object of the recording device. A comparative analysis of the measurement error of the image area introduced by a rectangular segment and semicircular segments was carried out. The concept of the normalized vibration displacement amplitude is introduced, which is used as an argument of the reduced error function, when the radius of a round test fragment is taken as the normalizing value. The concept of the equivalent amplitude of vibrational movement along an arbitrary trajectory is introduced, substantiated and concretized. A recommendation has been developed and substantiated to choose the radius of the test fragment as minimal if it exceeds the highest expected equivalent amplitude of the vibrational displacement of the investigated element of the vibrating surface.

Keywords: vibration, round mark, image, blur, dynamics, calibration, information-measuring system, numerical simulation

Введение

Вибрационный контроль состояния объектов является актуальной проблемой. Это относится практически ко всем объектам, как техногенным, так и природным. Анализ аргументов, приведенных в статьях [1] и [2], приводит к выводам о том, что механические колебания являются ценным источником информации о состоянии объекта контроля. В статьях [3] и [4] показано, что параметры вибрационного размытия изображения тестового фрагмента круглой формы обусловлены параметрами вибрационного перемещения связанного с этим фрагментом элемента поверхности объекта контроля. При обработке изображения тестового фрагмента с вибрационным размытием применяются, в частности, приемы, апробированные при решении задач геометрического контроля изображения проводящего рисунка печатной платы, описанные в статье [5]. В статьях [6-10] анализируется опыт, полученный при

обработке полутоновых изображений. Этот опыт применяется, в частности, при обработке изображений с вибрационным размытием.

1 Примерная реконструкция изображения фрагмента круглой формы при прямолинейном гармоническом вибрационном перемещении его оригинала в плоскости объекта регистрирующего устройства

Примерная схема измерения вибрации по размытию изображения круглого фрагмента представлена на рис. 1

На поверхности 1, вибрацию которой предполагается контролировать, закрепляется фрагмент 2, имеющий круглую форму. Регистрирующее устройство 3 (например, видеокамера) формирует изображение фрагмента или видеопоток, который поступает в вычислительное устройство 4, где обрабатывается и анализируется.

Если вибрационное перемещение элемента поверхности осуществляется по гармоническому закону и прямолинейной траектории, то такое перемещение имеет ярко выраженную амплитуду и среднеквадратичное значение. Такое перемещение возможно, например, при применении вибростенда. В условиях эксплуатации техногенного объекта или жизненного цикла объекта природного вибрационная траектория является, как правило, эллиптичной, а в некоторых случаях и более сложной. Интенсивность такой вибрации предлагается оценивать через интенсивность эквивалентной прямолинейной гармонической вибрации, в результате которой осуществляется такое же относительное приращение площади изображения тестового фрагмента круглой формы, какое и при исследуемом вибрационном процессе.

Примерная реконструкция изображения фрагмента круглой формы при прямолинейном вибрационном перемещении его оригинала в плоскости объекта регистрирующего устройства представлена на рис. 2.

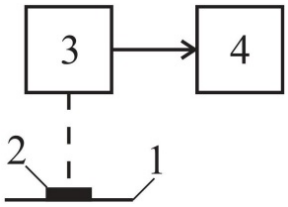


Рисунок 1 – Примерная схема измерения вибраций по размытию изображения круглого фрагмента

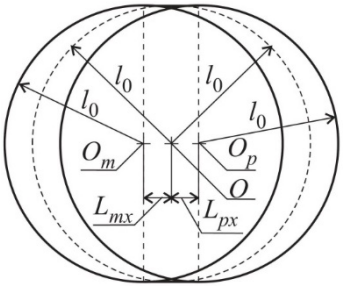


Рисунок 2 – Примерная реконструкция изображения фрагмента круглой формы при прямолинейном вибрационном перемещении его оригинала в плоскости объекта регистрирующего устройства

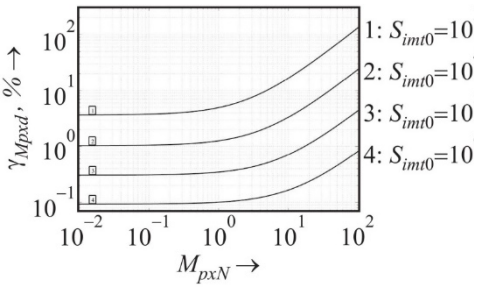


Рисунок 3 – Функции γ_{Mpxd} от M_{pxN} при различных значениях S_{imt0}

На рис. 1 точка O -мгновенная фотография исследуемого элемента поверхности на исходной позиции вибрационного перемещения. Точки O_p и O_m – две крайние позиции вибрационного перемещения исследуемого элемента поверхности. Штриховыми линиями показаны контуры мгновенных фотографий тестового фрагмента на исходной и крайних позициях вибрационного перемещения. Контур полученного в результате размытого изображения показан сплошной основной линией. l_0 - радиус мгновенной фотографии тестового фрагмента. L_{px} и L_{mx} – расстояния между точками O и O_p и O и O_m, соответственно. При прямолинейном гармоническом вибрационном перемещении элемента поверхности в плоскости объекта $L_{mx}=L_{px}$.

2 Оценка погрешности дискретизации при измерении амплитуды вибрационного перемещения

Изображение фрагмента круглой формы с вибрационным размытием, примерная реконструкция которого представлена на рис. 2, состоит из трех областей: двух периферийных и центральной. Каждая из двух периферийных областей ограничена полуокружностью, радиус кривизны которой равен l_0 и отрезком прямой, проходящим через центр кривизны этой полуокружности, симметричным относительно этого центра и имеющим длину $2l_0$. Центральная область имеет форму прямоугольника, одна из сторон которого $2l_0$, а другая - $2L_{px}$.

Погрешность дискретизации при измерении площади прямоугольной связной области существенно выше, чем при измерении круглой связной области. Это объясняется тем, что на периферии круга элементарные погрешности дискретизации со знаком «плюс» и со знаком «минус» частично компенсируют друг друга, а на периферии прямоугольника такого не происходит. Поэтому, чем большую долю площади размытого изображения составляет прямоугольник, тем большую погрешность эта часть вносит.

Численное моделирование позволило определить, каким образом погрешность дискретизации при измерении амплитуды вибрационного перемещения зависит от уровня этой амплитуды, измеренного в долях радиуса тестового круглого фрагмента. То есть в качестве аргумента функции принимается нормированная амплитуда вибрационного перемещения M_{pxN}:

$$M_{pxN} = \frac{M_{px}}{r_t}, \quad (1)$$

где r_t – радиус тестового круглого фрагмента.

Посредством численного моделирования получены функции γ_{Mpxd} от M_{pxN} при различных значениях S_{imt0}, где γ_{Mpxd} – приведенная погрешность дискретизации, которая образуется при измерении M_{px}; S_{imt0} – площадь мгновенной фотографии тестового фрагмента. Другими словами, S_{imt0} это то количество пикселов, которое приходится на цифровое изображение тестового фрагмента без вибрационного размытия. Графическая интерпретация этих функций представлена на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что если максимальное ожидаемое значение амплитуды вибрационного процесса не превышает радиуса тестового фрагмента круглой формы, то погрешность дискретизации практически постоянна. Но как только амплитуда вибрации начинает превышать радиус, погрешность дискретизации резко возрастает. Поэтому радиус тестового фрагмента рекомендуется выбирать минимальным при условии гарантированного превышения им максимальной ожидаемой амплитуды контролируемого вибрационного перемещения.

3 Эквивалентная амплитуда вибрационного перемещения элемента вибрирующей поверхности по произвольной траектории

M_{px}~L_{px}, где M_{px} – амплитуда прямолинейного гармонического вибрационного перемещения элемента поверхности в плоскости объекта по оси абсцисс. Другими словами:

$$M_{px} = p_{Sxy} \cdot \delta S_{imtx} \quad (2)$$

где M_{px} – амплитуда прямолинейного гармонического вибрационного перемещения в плоскости объекта регистрирующего устройства по оси абсцисс; p_{Sxy} – коэффициент отображения множества значений δS_{imtx} во множество значений M_{px}; δS_{imtx} – относительное вибрационное приращение площади изображения тестового фрагмента круглой формы при его вибрационном перемещении в плоскости объекта регистрирующего устройства по оси абсцисс.

Кроме того:

$$M_{py} = p_{Sxy} \cdot \delta S_{imty}, \quad (3)$$

где M_{py} – амплитуда прямолинейного гармонического вибрационного перемещения в плоскости объекта регистрирующего устройства по оси ординат; δS_{imty} – относительное вибрационное приращение площади изображения тестового фрагмента круглой формы при его вибрационном перемещении в плоскости объекта регистрирующего устройства по оси ординат.

$$M_{pz} = p_{Sz} \cdot \delta S_{imtz}, \quad (4)$$

где M_{pz} – амплитуда прямолинейного гармонического вибрационного перемещения по нормали к плоскости объекта регистрирующего устройства по оси аппликат; p_{Sz} – коэффициент отображения множества значений δS_{imtz} во множество значений M_{pz}; δS_{imtz} – относительное вибрационное приращение площади изображения тестового фрагмента круглой формы при его вибрационном перемещении по нормали к плоскости объекта регистрирующего устройства по оси аппликат.

В формулах (2) и (3) коэффициент отображения один и тот же p_{Sxy}. Это объясняется тем, что при вибрационном перемещении в плоскости объекта размытие изображения обусловлено непосредственно самим перемещением. При этом неважно, в каком направлении движение происходит: по оси абсцисс, по оси ординат или под каким-то непрямым и ненулевым углом к этим осям. При перемещении же элемента поверхности по оси аппликат перпендикулярно плоскости объекта, размытие изображения тестового фрагмента обусловлено расфокусированием этого изображения, то есть имеет несколько другую физическую природу. Однако при соответствующей настройке оптической системы регистрирующего устройства и при соответствующем выборе уровня порога бинаризации во многих случаях возможно добиться того, чтобы коэффициенты p_{Sxy} и p_{Sz} были равны между собой.

В настоящей статье предпринимается попытка обобщения формулы (2) на вибрационное перемещение по произвольной траектории. Принимается, что:

$$M_a = p_{Sa} \cdot \delta S_{imta}, \quad (5)$$

где M_a – эквивалентная амплитуда вибрационного перемещения элемента поверхности по произвольной траектории; δS_{imta} – относительное вибрационное приращение

площади изображения круглого фрагмента; p_{Sa} – коэффициент отображения множества значений δS_{imta} во множество значений M_a.

Эквивалентная амплитуда вибрационного перемещения элемента поверхности по произвольной траектории M_a принимается в качестве критерия интенсивности вибрационного процесса.

$$\delta S_{imta} = \frac{S_{imta} - S_{imto}}{S_{imto}}, \quad (6)$$

где S_{imta} – площадь изображения круглого фрагмента при вибрационном перемещении его оригинала по произвольной траектории; S_{imt0} – площадь изображения круглого фрагмента при неработающем испытуемом источнике вибрации.

Интенсивность вибрации сложной траектории измеряется амплитудой такого эквивалентного гармонического вибрационного перемещения в плоскости объекта по оси абсцисс, которое обусловливает вибрационное приращение площади изображения тестового фрагмента круглой формы δS_{imtx}, равное вибрационному приращению площади изображения тестового фрагмента круглой формы δS_{imta}.

Таким образом, радиус тестового фрагмента круглой формы рекомендуется выбирать минимальным при условии превышения им максимальной ожидаемой эквивалентной амплитуды контролируемого вибрационного перемещения по произвольной траектории.

Заключение

В статье обосновывается актуальность темы дистанционного вибрационного контроля состояния техногенных и природных объектов на основе анализа размытия изображений. Проведена примерная реконструкция изображения фрагмента круглой формы с вибрационным размытием при прямолинейном гармоническом вибрационном перемещении его оригинала в плоскости объекта регистрирующего устройства. Составлена примерная схема измерения интенсивности вибрации на основе анализа размытия изображения круглой формы. В статье поставлена задача сформулировать критерий интенсивности вибрационных процессов сложной траектории, на основе которого возможна выработка обоснованных рекомендаций по выбору радиуса тестового фрагмента круглой формы. В статье изложен принцип оценки погрешности дискретизации при измерении амплитуды прямолинейного гармонического вибрационного перемещения исследуемого элемента поверхности в плоскости объекта. Проведено разбиение изображения на характерные сегменты. Представлено семейство кривых, выражающих приведенную погрешность измерения вибрационного перемещения, как функцию самой этой величины, нормированной на радиус тестового фрагмента при различных значениях площади изображения тестового фрагмента без вибрационного размытия. Сформулировано понятие эквивалентной амплитуды вибрационного перемещения по произвольной траектории. Выработаны рекомендации по выбору радиуса тестового фрагмента круглой формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якимов А.Н. Моделирование влияния производственных погрешностей на излучение микроволновых антенн // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 3. С. 74-82. DOI: 10.21685/2307-4205-2023-3-9

2. Модель погрешности определения параметров траектории при использовании системы регистрации на базе видеокамер общего назначения / Волотов Е.М., Волотова Т.А., Митрофанов И.В., Митрофанов Е.И. // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 1. С. 29-37. DOI: 10.21685/2307-4205-2023-1-4

3. Анализ размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Нуржанов Д.Х., Григорьев А.В., Трусов В.А., Баннов В.Я., Стрельцов Н.А. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2017. Т. 2. С. 14-16.

4. Вычисление выходных параметров системы измерения модуля и компонент вектора вибрационного перемещения исследуемой материальной точки объекта контроля / Григорьев А.В., Гришко А.К., Лапшин Э.В., Наумова И.Ю., Данилова Е.А., Юрков Н.К. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2016. Т. 2. С. 41-44.

5. Григорьев А.В., Держевецкий А.Л., Юрков Н.К. Способ обнаружения и идентификации латентных технологических дефектов печатных плат // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2013. Т. 1. С. 15-19.

6. Григорьев А.В., Юрков Н.К., Кузнецов С.В. Обнаружение точечных изображений с положительным контрастом // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-2. С. 189-190.

7. Григорьев А.В., Волощенко А.А. Структурно-разностные профильные классы пикселей по двум направлениям // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2012. № 1. С. 159-162.

8. Григорьев А.В., Держевецкий А.Л. Критерий обнаружения объектных фрагментов штрихового изображения в полутоновом // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2011. Т. 2. С. 310-312.

9. Принцип негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений / Григорьев А.В., Держевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2014. Т. 2. С. 21-24.

10. Оконтуривание склона электронно-дифракционного рефлекса / Григорьев А.В., Граб И.Д., Паксяев Н.А., Трусов В.А., Баннов В.Я. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2008. Т. 1. С. 332-334.

УДК 004.932.2

Григорьев[1] А.В., Чакшов[2] А.О., Бакенов[3] О.

[1,2,3] Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВИБРАЦИЙ ПО ПРИРАЩЕНИЮ ПЛОЩАДИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ФРАГМЕНТА КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Аннотация. Изложена и обоснована методика формирования числовой последовательности вибрационных приращений площади изображения тестового фрагмента, форма которого близка к круглой. Выполнен предметный анализ применяемых в настоящее время методов и средств вибрационной диагностики. Приведено описание методики экспериментальных исследований, проведенных на блоке электронной аппаратуры, имеющем в своем составе вентилятор. Элементы поверхности этого блока совершают вибрационное перемещение по эллиптическим траекториям. Приведено описание методики статистической обработки результатов эксперимента, результаты применения этой методики к полученным экспериментальным данным. Статистическая обработка результатов показала, что эти результаты получены на исследуемом источнике вибрации, вибрационный сигнал от которого адекватно воспринимается экспериментальным виброанализатором. Установлено также, что прослеживается динамика измерительного сигнала, великолепно отражающая стадию разогрева исправного вентилятора. Сформирована числовая последовательность вибрационных приращений изображения фрагмента круглой формы. Построен график этой последовательности. С доверительной вероятностью, превышающей 95 % выявлено отличие абсолютного измерительного сигнала от фона. С той же доверительной вероятностью выявлен отрицательный тренд вибрации, указывающий на эффект саморазогрева контролируемого вентилятора.

Ключевые слова: идентификация состояния объекта, круглая метка, вибрационная диагностика, изображение, размытие, приращение площади изображения

Grigoryev[1] A.V., Chakshov[2] A.O., Bakenov[3] O.

[1,2,3] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

METHOD FOR MEASURING VIBRATION INTENSITY BY INCREMENT OF IMAGE AREA OF A CIRCULAR FRAGMENT

Annotation. A method for forming a numerical sequence of vibration increments of the image area of a test fragment, the shape of which is close to round, is outlined and justified. A substantive analysis of the currently used methods and means of vibration diagnostics has been carried out. A description of the experimental research methodology carried out on an electronic equipment unit containing a fan is given. The surface elements of this block vibrate along elliptical trajectories. A description of the technique for statistical processing of experimental results is given, and the results of applying this technique to the obtained experimental data are presented. Statistical processing of the results showed that these results were obtained on the vibration source under study, the vibration signal from which is adequately perceived by the experimental vibration analyzer. It was also established that the dynamics of the measuring signal can be traced, perfectly reflecting the heating stage of a working fan. A numerical sequence of vibration increments in the image of a round fragment has been generated. A graph of this sequence has been constructed. With a confidence probability exceeding 95%, the difference between the absolute measuring signal and the background was revealed. With the same confidence probability, a negative vibration trend was identified, indicating the effect of self-heating of the controlled fan.

Keywords: object state identification, round mark, vibration diagnostics, image, blur, image area increment

Введение

В статье [1] изложены методы математического моделирования влияния производственных погрешностей на излучение микроволновых антенн. Учет этого влияния при проектировании этих сложных систем существенно повышает их надежность и качество. При этом важно предусмотреть подсистемы контроля параметров проектируемых объектов. Одним из наиболее эффективных методов такого контроля является контроль вибрационный. Измерение параметров траектории движущегося объекта по видеоизображению этого движения, как показано в статье [2], является перспективным направлением. Применение методов обработки видеопотоков, отображающих один и тот же тестовый объект круглой формы для измерения параметров вибрации, описывается в статьях [3-7]. При этом используются не только интегральные методы математической статистики, но и методы структурного морфологического анализа, применяемые при решении задач обнаружения латентных дефектов печатных плат [8]. Анализу изображения с вибрационным размытием предшествует процесс сегментации исходного полутонового изображения, основные методики которого представлены в статьях [9-13].

1 Инвариант вибрационной характеристики

Вибрационный процесс характеризуется вибросмещением, виброскоростью, виброускорением. Кроме того, существует множество производных оценок, на этих понятиях основанных. При этом речь идет о характеристиках, как статических, так и динамических. Изображение исследуемого фрагмента при работающем вибрационном источнике деформируется. В результате изменяется его площадь. Это изменение (приращение) площади изображения тестового фрагмента принимается в качестве аналога (инварианта) интенсивности вибрации, вызвавшей это приращение.

Периодический контроль изменения площади изображения является базой для принятия решений по идентификации состояния объекта. При этом достоверность принимаемых решений зависит от однородности условий, в которых определяются реальное и опорное изображения. В частности, коммутация источника вибрации может осуществляться в каждом измерительном цикле или через несколько циклов или опорная и реальная серии формируются автономно. Но всегда вычисляют разность результатов измерений реальной и опорной серий с одним порядковым номером, и из этих разностей формируется новая серия вибрационных приращений площади изображения одного и того же фрагмента.

Площадь изображения опорной последовательности также варьируется относительно ожидаемого значения по причине наличия вибрационных фоновых шумов. Эта фоновая шумовая последовательность чаще всего представляет собой нестационарный случайный процесс, состоящий из двух аддитивных составляющих: стационарного случайного процесса и медленного дрейфа в сторону увеличения или в сторону уменьшения. При включенном исследуемом источнике вибрации обе эти составляющие сохраняются и суммируются с фоновым нестационарным процессом. В частном случае возможно применение площади изображения, а не ее приращения, в качестве инварианта интенсивности вибрационного приращения. При этом последовательность является реальной, а опорная последовательность — это последовательность нулей. В качестве опорной последовательности может также использоваться среднее значение площади изображения фрагмента.

2 Динамика вибрационных приращений площади фрагмента круглой формы

Экспериментальная проверка предположения, что вибрационное приращение площади изображения тестового фрагмента, форма которого близка к круглой, заключалась в том, что к корпусу блока питания компьютера «*CZ*» был прикреплен плоский фрагмент круглой формы. Последовательности изображений этого фрагмента формировались с помощью микроскопа ***DigiMicroProf***. Внутри блока есть вентилятор, который является источником вибрационного сигнала. Причем сигнала очень слабого. Источник питания новый, работает практически бесшумно. Коммутация блока питания осуществлялась через каждые пять фотографий фрагмента. В итоге были получены две последовательности, состоящие из ста элементов каждая. Этими элементами являлись изображения фрагмента, похожие друг на друга, но при этом и имеющие некоторые отклонения. Задача автоматизированного анализа заключалась в том, чтобы выяснить, являются эти отклонения следствием выборочной статистической изменчивости или они реально обусловлены вибрационным процессом, генерируемым новым вентилятором. Площадь каждого элемента каждой из сформированных последовательностей определялась с помощью простого подсчета количества пикселов, ему принадлежащих. Каждая цифровая фотография представляет собой набор пикселов. Эти пикселы могут принадлежать либо изображению (объектные пикселы), либо фону (фоновые пикселы). Различение объектных пикселов от фоновых осуществляется с помощью пороговой дискриминации, то есть с помощью сравнения интенсивности каждого пиксела с некоторым пороговым уровнем:

$$\xi_{p,k,i,j} = \begin{cases} 1, \text{ если } u_{p,k,i,j} > l \\ 0, \text{ если } u_{p,k,i,j} \le l' \end{cases} \quad (1)$$

где p – индекс типа последовательности цифровых фотографий: если эта последовательность является опорной, то индексу p присваивается значение, равное нулю, если же эта последовательность является реальной, то индексу p присваивается значение, равное единице; k – порядковый номер цифровой фотографии в последовательности; i – порядковый номер строки растровой матрицы; j – порядковый номер столбца растровой матрицы; l – пороговый уровень интенсивности.

Таким образом, $\xi_{p,k,i,j}$ это функция, принимающая значение, равное единице, если пиксел цифровой фотографии тестового фрагмента, принадлежащей последовательности типа p и имеющей в этой последовательности порядковый номер k расположен на пересечении строки с порядковым номером i и столбца с порядковым номером j, и его интенсивность превышает заданный пороговый уровень l. Если же при тех же условиях интенсивность пиксела не превышает порогового уровень l, то функция $\xi_{p,k,i,j}$ принимает значение, равное нулю. Другими словами, если этот пиксел является объектным, то есть принадлежащим изображению фрагмента, то функция $\xi_{p,k,i,j}$ принимает значение, равное единице. Если же этот пиксел является фоновым, то функция $\xi_{p,k,i,j}$ принимает значение, равное нулю.

Площадь изображения фрагмента определяется количеством пикселов, это изображение составляющих:

$$S_{imt\ p,k} = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \xi_{p,k,i,j}, \quad (2)$$

где $S_{imt\ p,k}$ – площадь изображения фрагмента, принадлежащего последовательности типа p и имеющего в этой последовательности порядковый номер k.

Вычисляются значения элементов последовательности вибрационных приращений площади изображения фрагмента:

$$\Delta S_{imt\ k} = S_{imt\ 1,k} - S_{imt\ 0,k}. \quad (3)$$

На рис. 1 представлен график вибрационного приращения площади изображения фрагмента, как функции порядкового номера этого приращения в последовательности.

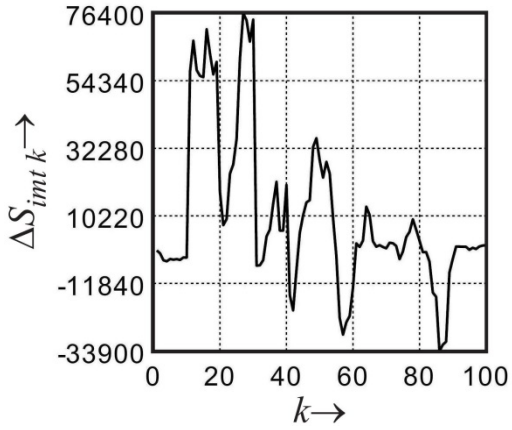


Рисунок 1 — Экспериментальный график вибрационного приращения площади изображения фрагмента как функции порядкового номера этого приращения в последовательности

3 Проверка нулевой гипотезы

Вибрационное приращение площади изображения фрагмента является случайной величиной. Одним из наиболее распространенных критериев оценки значимости отличия случайной величины от нуля является критерий Стьюдента. Экспериментальное значение критерия Стьюдента определяется по формуле:

$$t_e = \frac{M(\Delta S_{imt\ k})}{\sigma(\Delta S_{imt\ k})}\sqrt{K}, \quad (4)$$

где t_e - экспериментальное значение критерия Стьюдента; $M(\Delta S_{imt\ k})$ - статистическая оценка математического ожидания $\Delta S_{imt\ k}$; $\sigma(S_{imt\ k})$ - статистическая оценка среднеквадратичного отклонения $\Delta S_{imt\ k}$; K - количество элементов последовательности вибрационных приращений.

Проведенные расчеты показали, что в данном эксперименте t_e=3,944. Критическое значение критерия Стьюдента при уровне значимости 0,05, определенное по справочным таблицам: t_c=1,984. Таким образом, поскольку $t_e > t_c$, нулевая гипотеза отвергается с доверительной вероятностью 0,95. То есть вибрационное приращение площади изображения тестового фрагмента является именно вибрационным.

4 Значимость тенденции

На рис. 1 на фоне случайных изменений визуально просматривается некая тенденция вибрационного приращения площади изображения тестового фрагмента круглой формы в сторону уменьшения. Для того, чтобы утверждать, что такая тенденция действительно существует, необходимо математически это проверить. Одним из критериев такой проверки является критерий инверсий. По этому критерию рассматривают множество всех пар значений последовательности. Инверсией признается такая пара значений, в которой последующее значение меньше предыдущего. Подсчитывают общее количество инверсий в выборке. Если количество инверсий значимо превышает количество пар, в которых инверсии нет, то делают вывод, что в выборке обнаружен отрицательный тренд значений, то есть в последовательности обнаружена тенденция значений данных в сторону уменьшения. Если же, наоборот, количество пар без инверсии значимо превышает количество пар с инверсией, то делают вывод о тенденции числовой последовательности в сторону увеличения. А в том случае, если количества пар значений с инверсией и без инверсии значимо друг от друга не отличаются, то делают вывод об отсутствии каких-либо тенденций. Для того, чтобы решить, отличаются ли указанные количества друг от друга значимо существуют специальные таблицы. В рассматриваемой последовательности зарегистрировано I_e=3109 инверсий. При объеме выборки 100 и уровне значимости 0,05 нижнее критическое значение I_{cl}=2145, верхнее критическое значение I_{cu}=2804. Таким образом: I_e превышает I_{cu}. Таким образом, с доверительной вероятностью 95% принимается предположение, что последовательность действительно имеет тренд в сторону уменьшения. Такое направление тенденции указывает на отсутствие развивающегося дефекта в подшипнике вентилятора. Оно объяснимо тем, что измерения производятся сразу после включения вентилятора, в то время, когда он только начинает

разогреваться. Когда вентилятор разогреется и выйдет на режим, уровень вибрации станет минимальным. Таким образом, приращение площади изображения тестового фрагмента круглой формы является инвариантом интенсивности вибрационного процесса.

Заключение

В статье проведен анализ двух стандартизированных подходов к оценке состояния машин на основе анализа параметров вибраций: по абсолютным значениям этих параметров и по их динамике. Предпринята попытка распространения этих критериев на все контролируемые техногенные и природные объекты. Проведен анализ публикаций, описывающих применение контактных виброизмерительных систем для контроля состояния объектов. Выполнен анализ работ, посвященных развитию методов вибрационного контроля на основе анализа размытия геометрических параметров изображений тестовых фрагментов круглой формы. Предложен инвариант интенсивности вибраций, в том числе и сложных, в виде вибрационного приращения площади изображения фрагмента круглой формы. Проведена оценка значимости вибрационного приращения площади изображения тестового фрагмента круглой формы по критерию Стьюдента. Последовательность вибрационных приращений изображения тестового фрагмента круглой формы проанализирована на предмет наличия в ней тенденции в сторону увеличения или уменьшения. Выявлена значимая тенденция экспериментальных значений приращения площади изображения круглой метки в сторону уменьшения. Этот тренд объяснен тем, что подшипник качения в составе вентилятора разогревается, в результате чего тела качения и бороздки, по которым они движутся, деформируются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якимов А.Н. Моделирование влияния производственных погрешностей на излучение микроволновых антенн // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 3. С. 74-82. DOI: 10.21685/2307-4205-2023-3-9

2. Модель погрешности определения параметров траектории при использовании системы регистрации на базе видеокамер общего назначения / Волотов Е.М., Волотова Т.А., Митрофанов И.В., Митрофанов Е.И. // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 1. С. 29-37. DOI: 10.21685/2307-4205-2023-1-4

3. Анализ размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Нуржанов Д.Х., Григорьев А.В., Трусов В.А., Баннов В.Я., Стрельцов Н.А. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2017. Т. 2. С. 14-16.

4. Вычисление выходных параметров системы измерения модуля и компонент вектора вибрационного перемещения исследуемой материальной точки объекта контроля / Григорьев А.В., Гришко А.К., Лапшин Э.В., Наумова И.Ю., Данилова Е.А., Юрков Н.К. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2016. Т. 2. С. 41-44.

5. Анализ отсчетных сегментов следа вибрационного размытия изображения круглой метки / Григорьев А.В., Кочегаров И.И., Бростилов С.А., Горячев Н.В., Андреев П.Г. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2016. Т. 2. С. 37-41.

6. Методика калибровки системы трехкомпонентного измерения параметров вибраций на основе анализа геометрии следа размытия изображения круглой метки / Григорьев А.В., Алмаметов В.Б., Долотин А.И., Царев А.Г., Беликов Г.Г., Гришко А.К. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2015. Т. 2. С. 16-19.

7. Особенности отображения вектора вибрационного перемещения материальной точки в плоскости изображения Каражанов Б.Б., Григорьев А.В., Данилова Е.А., Гришко А.К. Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2017. Т. 2. С. 16-20.

8. Григорьев А.В., Держевецкий А.Л., Юрков Н.К. Способ обнаружения и идентификации латентных технологических дефектов печатных плат // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2013. Т. 1. С. 15-19.

9. Григорьев А.В., Юрков Н.К., Кузнецов С.В. Обнаружение точечных изображений с положительным контрастом // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-2. С. 189-190.

10. Григорьев А.В., Волощенко А.А. Структурно-разностные профильные классы пикселей по двум направлениям // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2012. № 1. С. 159-162.

11. Григорьев А.В., Держевецкий А.Л. Критерий обнаружения объектных фрагментов штрихового изображения в полутоновом // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2011. Т. 2. С. 310-312.

12. Принцип негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений / Григорьев А.В., Держевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2014. Т. 2. С. 21-24.

13. Оконтуривание склона электронно-дифракционного рефлекса / Григорьев А.В., Граб И.Д., Паксяев Н.А., Трусов В.А., Баннов В.Я. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2008. Т. 1. С. 332-334.

УДК 004.932.2

Григорьев А.В.
Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
kipra@pnzgu.ru

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННОГО РАЗМЫТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФРАГМЕНТОВ КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Аннотация. Приведена обобщенная структура системы измерения амплитуды вибрационного перемещения элемента поверхности объекта контроля. Проведен анализ формирования измерительного сигнала в частном случае вибрационного перемещения элемента поверхности. Выполнено обоснование параметров фокусирования устройства, фиксирующего изображение тестового фрагмента круглой формы. Обозначена возможность применения для измерения вибраций излучений не только в области видимого света, но и других диапазонов и видов. Описан процесс формирования исходного полутонового изображения тестового фрагмента круглой формы при его вибрационном перемещении. Проанализированы процессы и результаты формирования изображений одного и того же тестового фрагмента круглой формы при различных соотношениях частоты вибрации и частоты кадров регистрирующего устройства. Осуществлено описание общих принципов формирования функции распределения яркости элементов изображения тестового фрагмента круглой формы от расстояния до геометрического центра этого изображения при различных уровнях вибрационного воздействия. Установлено взаимно однозначное соответствие между амплитудой вибрационного перемещения исследуемого элемента поверхности объекта контроля и обусловленного этим перемещением вибрационного приращения радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы. В общих чертах описан способ автоматизированной оценки коэффициентов, это соответствие определяющих.

Ключевые слова: вибрационное перемещение, круглая метка, тестовый фрагмент, изображение, размытие, бинаризация, калибровка

Grigoryev A.V.
Penza State University, Penza, Russia
kipra@pnzgu.ru

INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR MONITORING THE CONDITION OF NATURAL AND MAN-MADE OBJECTS BASED ON THE ANALYSIS OF VIBRATION BLURRY OF IMAGES OF ROUND-SHAPED FRAGMENTS

Annotation. The generalized structure of the system for measuring the amplitude of vibration movement of a surface element of a test object is presented. An analysis of the formation of a measuring signal in the particular case of vibrational movement of a surface element is carried out. The focusing parameters of the device that captures the image of a round test fragment have been substantiated. The possibility of using radiation vibrations not only in the visible light region, but also in other ranges and types is indicated. The process of forming the initial halftone image of a round test fragment during its vibrational movement is described. The processes and results of image formation of the same test fragment of a circular shape are analyzed at different ratios of the vibration frequency and the frame rate of the recording device. A description of the general principles of the formation of the brightness distribution function of the image elements of a round test fragment from the distance to the geometric center of this image at various levels of vibration exposure has been carried out. A one-to-one correspondence has been established between the amplitude of the vibrational movement of the test element of the surface of the test object and the vibrational increment of the image radius of the test fragment of a round shape caused by this movement. A method for automated evaluation of coefficients is described in general terms; this is the correspondence of the determinants.

Keywords: vibration movement, round mark, test fragment, image, blur, binarization, calibration

Введение

Проблема оценивания общего уровня механических вибраций актуальна, в частности, потому, что результаты моделирования свойств проектируемых сложных систем требуют систематической проверки. Например, в статье [1] выполнено обоснование того факта, что систематическое отслеживание ухода параметров зеркальных антенн, происходящего по причине случайных погрешностей изготовления этих изделий, существенно повышает показатели их надежности и качества. В статье [2] говорится о неисчерпаемых возможностях систем обнаружения, слежения, мониторинга и диагностики, использующих в качестве источника первичного сигнала видеокамеры. Применение методов обработки видеопотоков, отображающих один и тот же тестовый объект круглой формы для измерения параметров вибрации, описывается в статьях [3-7]. При этом используются не только интегральные методы математической статистики, но и методы структурного морфологического анализа, применяемые при решении задач обнаружения латентных дефектов печатных плат [8]. Анализу изображения с вибрационным размытием предшествует процесс сегментации исходного полутонового изображения, основные методики которого представлены в статьях [9-13].

1 Структура системы измерения амплитуды вибрационного перемещения элемента поверхности объекта контроля (ОК)

На рис. 1 схематично представлена экспериментальная установка, предназначенная для оценки общего уровня вибрации на основе анализа изображения тестового фрагмента круглой формы с вибрационным размытием.

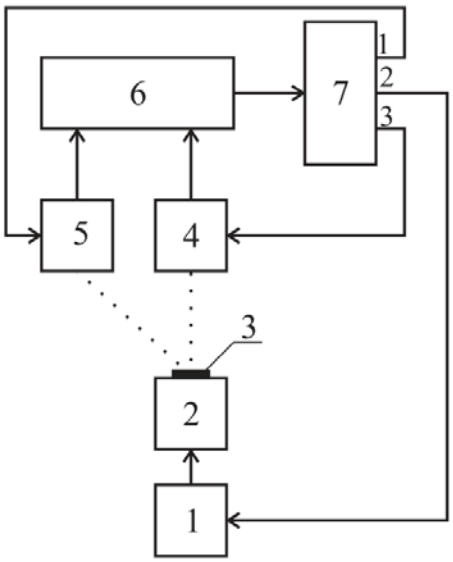


Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки
для оценки общего уровня вибрации

На вибростенде 1 устанавливают несущую деталь 2, на поверхность которой наносят тестовый фрагмент круглой формы 3. Над тестовым фрагментом 3 устанавливают регистрирующее устройство (РУ) 4 так, чтобы исследуемый элемент поверхности несущей детали 2, расположенный в геометрическом центре тестового фрагмента 3, находился в плоскости объекта РУ 4. Это достигается соответствующим фокусированием объектива РУ. Параллельно РУ 4 располагают образцовый виброметр 5. Его позиционирование предоставляет возможность как параллельных, так и последовательных измерений вибрационного перемещения. Результаты измерений в цифровой форме поступают в вычислительное устройство 6, которое осуществляет необходимые преобразования и генерирует управляющие коды, с помощью которых через устройство коммутации 7 осуществляет оперативное управление образцовым виброметром 5, вибростендом 1 и регистрирующим устройством 4.

2 Принцип действия системы измерения амплитуды вибрационного перемещения элемента поверхности ОК

Плоскость, в которой лежит тестовый фрагмент круглой формы, когда вибрационный процесс не воздействует на исследуемый элемент поверхности, расположенный в геометрическом центре этого фрагмента, является плоскостью объекта РУ. Объектив этого устройства отрегулирован таким образом, что исследуемый элемент поверхности ОК располагается в фокусе оптической системы. В общем случае излучение может быть не только в диапазоне видимого света. Оно может быть инфракрасным, ультрафиолетовым, рентгеновским, электронным, в радиодиапазоне и т. п.. В любом из этих вариантах тестовый фрагмент располагается в фокусе, то есть в том положении, когда изображение является наиболее четким. При перемещении тестового фрагмента его изображение становится менее четким и его радиус изменяется. Размеры изображения изменяются циклически: реализуется эффект амплитудной модуляции радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы вибрационным процессом. Если частота кадров РУ намного превышает частоту вибрации, то на мишени РУ прослеживается динамика вибрационного изменения радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы. Если же частота кадров РУ приблизительно равна частоте вибрационного процесса, то вибрационное изменение изображения становится медленным за счет эффекта биений. При точном совпадении частоты кадров РУ с частотой вибрационного процесса радиус изображения не изменяется: тестовый фрагмент всегда отображается в одной фазе вибрации. Если же частота кадров РУ намного меньше частоты вибрации, то наблюдается эффект вибрационного размытия изображения: центральная часть изображения остается без изменений, поскольку поток зондирующего излучения, который излучается тестовым фрагментом или отражается от него, воздействует на матрицу чувствительных элементов РУ в течение всего периода вибрации. Что же касается элементов периферии изображения, то чем дальше такой элемент от центра, тем меньшую часть периода вибрационного перемещения генерируемый им световой поток воздействует на соответствующий элемент матрицы чувствительных элементов РУ. А это значит, что чем дальше элемент

изображения от центра, тем меньше будет в итоге яркость этого элемента, передаваемая электрическим зарядом, электрическим напряжением или любым другим аналогом, преобразуемым РУ в цифровую форму. Таким образом, если такое изображение вывести на экран, то яркость изображения тестового фрагмента круглой формы, начиная с некоторого значения радиуса изображения, будет постепенно спадать. Причем, чем выше общий уровень вибрации, тем сильнее будет затянут фронт этого спада. А это значит, что радиус изображения, преобразованного в бинарную форму, будет зависеть по крайней мере от двух факторов: от общего уровня вибрации и от порога бинаризации изображения. Если, например, пороговый уровень бинаризации установлен на уровне 0,9 от максимальной яркости при отсутствии вибрации, то с ростом интенсивности вибрационного воздействия радиус изображения тестового фрагмента будет уменьшаться. Если же порог бинаризации установлен, например, на уровне 0,1, то при увеличении интенсивности вибрационного воздействия, радиус изображения будет увеличиваться. Но при любом пороге бинаризации вибрационное приращение радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы прямо пропорционально уровню вибрации, это приращение вызвавшей.

3 Основные математические соотношения, реализуемые системой измерения амплитуды вибрационного перемещения элемента поверхности ОК

Уровень вибрации можно оценивать, например, амплитудой вибрационного перемещения исследуемого элемента поверхности ОК:

$$L_Z = q_Z A_Z, \quad (1)$$

где L_Z – вибрационное приращение радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы (которое может быть как положительным, так и отрицательным), вызванное вибрационным перемещением исследуемого элемента поверхности ОК по нормали к плоскости объекта РУ (то есть по оси аппликат); A_Z – амплитуда вибрационного перемещения исследуемого элемента поверхности ОК по оси аппликат; q_Z – коэффициент прямого преобразования A_Z в L_Z.

Из формулы (1) непосредственно следует, что:

$$A_Z = p_Z L_Z, \quad (2)$$

где p_Z – коэффициент обратного преобразования L_Z в A_Z.

Из формулы (2) следует, что:

$$p_Z = \frac{A_Z}{L_Z}. \quad (3)$$

Таким образом, для того, чтобы определить коэффициент p_Z, необходимо измерить амплитуду вибрационного перемещения A_Z и вибрационное приращение радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы, то есть произвести предварительные калибровочные измерения, в ходе которых измеряют радиус изображения тестового фрагмента круглой формы при работающем и при выключенном вибростенде 1 – l_{Zc} и l_0, соответственно. Параллельно измеряют амплитуду калибровочного вибрационного перемещения A_{Zc} исследуемого элемента поверхности несущей детали 2. По полученным данным вычисляют калибровочное вибрационное приращение радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы L_{Zc} и далее коэффициент обратного преобразования p_Z:

$$L_{Zc} = l_{Zc} - l_0, \quad (4)$$

$$p_Z = \frac{A_{Zc}}{L_{Zc}}. \quad (5)$$

Заключение

В статье проведен анализ публикаций в области прогнозирования параметров вибраций техногенных объектов с целью повышения их надежности и качества на стадии проектирования. Проанализированы проблемы, возникающие при измерении вибраций с целью обнаружения и идентификации развивающихся скрытых дефектов. Приведено описание принципа действия системы измерения амплитуды вибрационного перемещения исследуемого элемента поверхности объекта контроля при условии, что этот элемент расположен в геометрическом центре изображения тестового фрагмента на исходной позиции при выключенном источнике вибрационного воздействия. Приведена структура системы, включая цепи калибровки. Приведено обоснование параметров фокусирования регистрирующего устройства. Высказаны соображения по распространению методик на специфику не только видимого света, но и других видов излучения. Приведено описание формирования полутонового изображения тестового фрагмента круглой формы в процессе вибрационного перемещения исследуемого элемента поверхности объекта контроля ортогонально плоскости объекта регистрирующего устройства. Проанализирован процесс формирования видеопотока, каждый кадр которого представляет собой изображение тестового фрагмента круглой формы, при условии, что частота этих кадров намного меньше частоты исследуемого вибрационного процесса. Аналогичный анализ проведен и для ситуаций, в которых частота кадров регистрирующего устройства приблизительно равна частоте вибрационного процесса и в которых частота кадров регистрирующего устройства намного превышает

частоту исследуемого вибрационного процесса. Показано, каким образом общий уровень вибрации исследуемого элемента поверхности объекта контроля определяет распределение яркости по элементам изображения тестового фрагмента круглой формы. На основании этой модели установлено, что вибрационное приращение радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы прямо пропорционально амплитуде вибрационного перемещения исследуемого элемента поверхности объекта контроля. Приведено описание и обоснование способа автоматизированного определения параметров обратного измерительного преобразования вибрационного приращения радиуса изображения тестового фрагмента в амплитуду вибрационного перемещения исследуемого элемента поверхности объекта контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якимов А.Н. Моделирование влияния производственных погрешностей на излучение микроволновых антенн // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 3. С. 74-82. DOI: 10.21685/2307-4205-2023-3-9

2. Модель погрешности определения параметров траектории при использовании системы регистрации на базе видеокамер общего назначения / Волотов Е.М., Волотова Т.А., Митрофанов И.В., Митрофанов Е.И. // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 1. С. 29-37. DOI: 10.21685/2307-4205-2023-1-4

3. Анализ размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Нуржанов Д.Х., Григорьев А.В., Трусов В.А., Баннов В.Я., Стрельцов Н.А. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2017. Т. 2. С. 14-16.

4. Вычисление выходных параметров системы измерения модуля и компонент вектора вибрационного перемещения исследуемой материальной точки объекта контроля / Григорьев А.В., Гришко А.К., Лапшин Э.В., Наумова И.Ю., Данилова Е.А., Юрков Н.К. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2016. Т. 2. С. 41-44.

5. Анализ отсчетных сегментов следа вибрационного размытия изображения круглой метки / Григорьев А.В., Кочегаров И.И., Бростилов С.А., Горячев Н.В., Андреев П.Г. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2016. Т. 2. С. 37-41.

6. Методика калибровки системы трехкомпонентного измерения параметров вибраций на основе анализа геометрии следа размытия изображения круглой метки / Григорьев А.В., Алмаметов В.Б., Долотин А.И., Царев А.Г., Беликов Г.Г., Гришко А.К. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2015. Т. 2. С. 16-19.

7. Особенности отображения вектора вибрационного перемещения материальной точки в плоскости изображения Каражанов Б.Б., Григорьев А.В., Данилова Е.А., Гришко А.К. Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2017. Т. 2. С. 16-20.

8. Григорьев А.В., Держевецкий А.Л., Юрков Н.К. Способ обнаружения и идентификации латентных технологических дефектов печатных плат // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2013. Т. 1. С. 15-19.

9. Григорьев А.В., Юрков Н.К., Кузнецов С.В. Обнаружение точечных изображений с положительным контрастом // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-2. С. 189-190.

10. Григорьев А.В., Волощенко А.А. Структурно-разностные профильные классы пикселей по двум направлениям // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2012. № 1. С. 159-162.

11. Григорьев А.В., Держевецкий А.Л. Критерий обнаружения объектных фрагментов штрихового изображения в полутоновом // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2011. Т. 2. С. 310-312.

12. Принцип негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений / Григорьев А.В., Держевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2014. Т. 2. С. 21-24.

13. Оконтуривание склона электронно-дифракционного рефлекса / Григорьев А.В., Граб И.Д., Паксяев Н.А., Трусов В.А., Баннов В.Я. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2008. Т. 1. С. 332-334.

УДК 621.396

Крячко[1] А.Ф., Бибарсов[2] М.Р, Аюков[3] Б.А.

[1,2,3] Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

[1] kaf21@guap.ru

[2] Bibarsovmr@rambler.ru

[3] Ajukov-b-58@yandex.ru

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ПРИ НЕИСПРАВНОСТЯХ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ

Аннотация. В настоящее время одной из проблем при эксплуатации антенн для различных радиоэлектронных систем является учет влияния отказов фазовращателей на характеристики фазированных антенных решеток, в частности волноводно-щелевой антенной решетки. Анализ публикаций показывает, что ситуации выхода из строя указанных элементов рассмотрены не в полной мере и исследования в этом направлении носят весьма ограниченный характер. В ходе проведения исследования предложен алгоритм статистического моделирования влияния отказов на характеристики волноводно-щелевой антенной решетки. Приведено соотношение, связывающее диаграмму направленности с объемом статистической выборки и количеством фазовращателей, вышедших из строя. Результаты теоретического анализа подтверждены математическим моделированием на ЭВМ.

Ключевые слова: волноводно-щелевая антенная решетка, фазовращатель, диаграмма направленности, среднеквадратическое отклонение, ширина диаграммы направленности, уровень боковых лепестков, мощность излучения, статистическое моделирование

Kryachko[1] A.F., Bibarsov[2] M.R., Ayukov[3] B.A.

[1,2,3] Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia

[1] kaf21@guap.ru

[2] Bibarsovmr@rambler.ru

[3] Ajukov-b-58@yandex.ru

ALGORITHM FOR SIMULATING CHANGES IN THE CHARACTERISTICS OF A WAVEGUIDE-SLOT ANTENNA ARRAY IN THE EVENT OF PHASE SHIFTER FAILURES

Annotation. Currently, one of the problems in the operation of antennas for various radioelectronic systems is taking into account the influence of phase shifter (PS) failures on the characteristics of phased array antennas, in particular the waveguide slot antenna array (WSAR). Analysis of publications shows that failure situations of these elements are not fully considered and research in this direction is very limited. In the course of the study, an algorithm for statistical modeling of the impact of failures on the characteristics of the WSAR was proposed. A relationship is presented that connects the radiation pattern with the volume of the statistical sample and the number of PVs that have failed. The results of the theoretical analysis are confirmed by mathematical modeling on a computer.

Keywords: waveguide-slot antenna array, phase shifter, radiation pattern, standard deviation, radiation pattern width, side lobe level, radiation power, statistical modeling

Исследованию щелевых антенн (ЩА) посвящено большое количество работ [1–6]. Возможность выполнения таких невыступающих излучателей заподлицо с металлической поверхностью в отличие от вибраторных делает их очень рациональными для применения на подвижных наземных, воздушных и морских объектах. ЩА представляет собой узкую щель шириной (0,03–0,05)λ, где λ – длина волны, прорезанную в металлической поверхности над экраном или в волноводе. При этом обеспечивается одностороннее излучение щели. В зависимости от формы ЩА формируется поле линейной или вращающейся поляризации. В то же время следует отметить, что щелевой излучатель как самостоятельная антенна практически не применяется. Однако, с развитием теории антенн для улучшения направленных свойств ЩА становятся востребованными в качестве элементов антенной решетки, в частности в волноводно-щелевой.

Волноводно-щелевые антенные решетки (ВЩАР) позволяют значительно увеличить коэффициент направленного действия и находят широкое применение в радиолокации, спутниковой, радиорелейной и мобильной связи [7–20]. Однако, возникновение неисправностей фазовращателей (ФВ) антенных элементов при эксплуатации ВЩАР накладывает определенные особенности при формировании диаграммы направленности (ДН) с заданными параметрами. Анализ публикаций показывает, что ситуации выхода из строя указанных элементов рассмотрены не в полной мере и носят весьма ограниченный характер.

Целью настоящей статьи является разработка алгоритма моделирования влияния отказов ФВ в случае, когда фазы ФВ принимают значение равное нулю.

При возникновении неисправностей ФВ с обнулением их фаз учет их влияния на характеристики ВЩАР заключается в следующем: производится вычитание излучения неисправных излучателей, которое отказавшие ФВ обеспечивали при установке фазы до наступления неисправности и добавлении излучения, которое они стали формировать при обнулении их фаз. При этом учитывается местоположение неисправного фазовращателя в антенной решетке, т.е. его номер. С учетом поставленной цели в работе разработан алгоритм моделирования изменения характеристик линейной волноводно-щелевой антенной решетки при неисправностях фазовращателей, когда их фазы принимают значение равное нулю вместо требуемых. Последовательность алгоритма следующая.

На первом шаге выполняется ввод исходных данных в соответствии с таблицей 1.

Исходные данные для алгоритма Таблица 1

Параметры моделирования	Значение
Диапазон рабочих частот	$\Delta f_{раб}$ = 5 – 5,750 ГГц
Средняя частота	$f_{ср}$ = 5.5 ГГц
Волновой размер антенны	$L/\lambda \approx 180/2\pi = 30$, L – длина ВЩАР
Расстояние между излучателями	$d = 0.60\lambda$, считаем, что λ=Λ,
Количество излучателей	$N = 30/0.60 = 50$
θ_0– направление главного излучения	20^0
Объем статистической выборки	$N_B = 50$
Количество отказов ФВ (M)	до M<35
Сектор углов для расчетов	$-40^0<\theta<40^0$

Следует отметить, что параметры ВЩАР и диапазон частот выбраны с учетом применения их в радиолокации, спутниковой, радиорелейной и мобильной связи

На втором шаге выход из строя M ФВ (M – количество ФВ, вышедших из строя) определяется случайным образом методом перебора ФВ по циклу. В результате получаем случайные номера неисправных ФВ в линейной ВЩАР. Для этого реализуется следующее: цикл по перебору всех элементов линейной антенной решетки, цикл по перебору количества неисправных ФВ, получение номеров отказавших ФВ антенных элементов ВЩАР. На третьем шаге вычисляется исходная реализованная нормированная ДН в соответствие с постановкой задачи. Исходная нормированная ДН без неисправностей фазовращателей рассчитывается по формуле

$$F(\theta) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N\sum[i2kdn(\sin\theta - \sin\theta_0]} exp \qquad (1)$$

где N – количество излучателей в ВЩАР; n – излучателя; i– мнимая единица; $k = 2\pi/\lambda$– волновое число; d – расстояние между щелевыми антенными элементами; θ– угол, отсчитываемый от направления перпендикуляра к линии расположения излучателей; θ_0– фиксированный угол, соответствующий направлению главного максимума ДН. При применении формулы для суммы геометрической прогрессии формула (1) преобразуется к следующему виду:

$$F(\theta) = \frac{sin\left[\frac{N}{2}(kd\sin\theta - \sin\theta_0)\right]}{N\sin\left[\frac{1}{2}(kd\sin\theta - \sin\theta_0)\right]}, \qquad (2)$$

Следующим шагом алгоритма рассчитывается нормированная ДН при появлении отказов ФВ по следующей формуле:

$$F1(\theta) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N_B}\left[F(\theta) - \left\langle\sum_{p=0}^{M}\left\{exp\left[\frac{1}{N}i2kdm_{n,p}(\sin\theta - \sin\theta_0)\right]\right\}\right\rangle\right]\frac{1}{N_B}, \qquad (3)$$

где M – количество ФВ, вышедших из строя, $m_{n,p}$ – номера отказавшего элемента, N_B – объем статистической выборки. Формула (3) учитывает фазу, устанавливаемой равной нулю и место отказа ФВ.

На пятом шаге для набора объема статистической выборки необходимо пункты 2 и 3 повторить N_B раз. Шестым шагом определяем среднее значение и дисперсию (среднеквадратичное отклонение (СКО)) нормированной ДН. СКО вычисляем по следующем формуле:

$$\sigma(\theta) = \sqrt{\sum_{n=1}^{N_B}\left[F(\theta) + \left[\sum_{p=0}^{M} exp\left[\frac{1}{N}i2kdm_{n,p}(\sin\theta - \sin\theta_0)\right]\right]\right]^2\frac{1}{N_B} - F1(\theta)^2} \qquad (4)$$

Среднее значение ДН характеризует степень искажения ее формы, а СКО - характеризует степень изменчивости ДН от реализации к реализации (разброс).

На седьмом шаге по формулам (3, 4) в соответствие с полученными вычислениями строятся графические изображения нормированных ДН и СКО для различного количества неисправных ФВ.

В соответствие в представленным пошаговым алгоритмом в таблице 2 представлены относительный уровень боковых лепестков (УБЛ), относительная ширина ДН (ШДН), относительная мощность излучения в направлении главного излучения и СКО для различного количества отказов ФВ от 5 до 35 из 50 с шагом 5 неисправностей. Исследование проводились на ЭВМ с помощью пакета прикладной математики Mathcad 15. При возникновении неисправности ФВ их фаза устанавливалась равной нулю вместо требуемого значения при линейном фазовом распределении и равномерном амплитудном распределении.

Результаты моделирования сведены и представлены в таблице 2.

Моделирование отказов ФВ Таблица 2

Количество неисправных ФВ	5	10	15	20	25	30	35
Относительный УБЛ, (%)	13	16	18	32	38	50	59
Относительная ШДН, (%)	8	10	11	13	15	16	18
Мощность излучения в θ_0	0.9	0.82	0.7	0.65	0.5	0.42	0.3
СКО	0.064	0.09	0.1	0.12	0.15	0.17	0.18

Анализ вычислений, приведенный в таблице 2, позволяет привести следующие результаты при увеличении количества отказов ФВ: - относительная мощность излучения уменьшается от 0.9 до 0.3; - относительная ширина ДН увеличивается от 8% до 18%; - наблюдается повышение относительного уровня боковых лепестков от 13% до 59%; - СКО увеличивается от 0.064 до 0.18.

В заключение можно сделать следующие выводы по результатам проведенного исследования на основе синтезированного алгоритма моделирования изменения характеристик волноводно-щелевой антенной решетки при неисправностях фазовращателей:

1. Представлены основные соотношения, связывающие ДН с объемом статистической выборки и количеством ФВ, вышедших из строя.

2. Получены результаты исследований влияния различного количества отказов ФВ на характеристики ВЩАР.

3. Показано, что при возникновении неисправностей ФВ с обнулением их фаз требуется восстановление характеристик ВЩАР к исходным, т.е их коррекция в условиях невозможности замены ФВ.

4. Направления дальнейших исследований связаны с анализом коррекции искажений параметров и характеристик ВЩАР с использованием методов, рассмотренных в [21–28]. Кроме того, являются важными для исследования влияние отказов ФВ с установлением фаз случайным образом, а также варианта выхода из строя ФВ при котором мощность не проходит в излучатель, что выходит за рамки настоящей работы.

5. Полученные результаты исследований могут быть обобщены и использованы в радиолокационных системах; системах спутниковой, радиорелейной и мобильной связи; беспроводной локальной сети; радиоастрономии на этапе разработки радиоэлектронных устройств в этих направлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М. Б. Мануилов, В. А. Лерер, Г. П. Синявский. Методы расчета и новые применения волноводно-щелевых антенных решеток. Успехи современной радиоэлектроники, 2007, вып. 5, с. 3-28.

2. Виленский А.Р. Метод анализа пространственно-временных характеристик излучения печатных щелевых антенн бегущей волны // XX МНТК Радиолокация, навигация, связь. Воронеж. 2014 Т. 1 С. 687-697.

3. Данильчук В.И. Модельная задача расчета щелевой антенны под покрытием.// Радиотехника. 2000. №9. с. 12-15.

4. Радциг 10.Ю., Хаванова М.А., Мойсеенко Н.П. Математическое моделирование задачи синтеза слабонаправленных щелевых антенн для летательных аппаратов. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, Самара, 2001, том 4, N3, с. 27-29.

5. Математические методы прикладной электродинамики / С. Б. Раевский, Ю. Г. Белов, А. А. Денисенко, А. И. Ермолаев, В. В. Ермошин, Т. Н. Заборонкова // М.: Радиотехника, 2007. 88 с.

6. Войтович Н. И., Клыгач Д. С., Хашимов А. Б. Поле излучения двусторонней щелевой антенны // Вестник ЮУрГУ. Серия "Компьютерные технологии, управление и радиоэлектроника". 2012. Вып. 16, № 6 (282). С. 135–141.

7. Кошкидько В. Г., Мигалин М. М. Разработка линейной эквивалентной волноводно-щелевой антенной решетки и анализ ее направленных свойств // Антенны. 2018. № 2. С. 15-20.

8. Milligan T. A. Modern Antenna design. N. J.: John Wiley & Sons, 2005. 630 p.

9. Balanis C. A. Modern antenna handbook. N. J.: John Wiley & Sons, 2008. 1704 p.

10. Levin B. Antenna Engineering Theory and Problems. Boca Raton: CRC Press, 2017. 406 p.

11. Пелевин А. О., Заргано Г. В., Вяткина С. В. Сравнительный анализ ФАР на прямоугольных и гребневых волноводах // Телекоммуникации. 2019. № 3. С. 22–28.

12. Single ridge waveguide slot incremental conductance analysis and array antenna design / Rui Xu, Jiangying Li, Dingyi Luo, Guangwei Yang // Proc. of 2014 3rd Asia-Pacific Conf. on Antennas and Propagation, Harbin, China, 26–29 July 2014. IEEE, 2014. P. 143–146. doi: 10.1109/APCAP.2014.6992435

13. Teng Li, Wenbin Dou. Design of an Edge Slotted Waveguide Antenna Array Based on T-Shaped Cross-Section Waveguide // Intern. J. of Antennas and Propagation. 2017. P. 1–8. doi: 10.1155/2017/7385357

14. Elliott R. S. Antenna Theory & Design. Wiley-IEEE Press, 2003. 612 p.

15. Математическая модель антенно-волноводного тракта с разделением сигналов по частоте-поляризации / Д. Д. Габриэльян, А. Е. Коровкин, С. И. Бойчук, С. В. Дворников, М. Р. Бибарсов, Г. Ш. Бибарсова // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2022. Т. 25, № 4. С. 41–51. doi: 10.32603/1993-8985-2021-25-4-41-51

16. Пономарев Л. И., Степаненко В. И. Сканирующие многочастотные совмещенные антенные решетки. М.: Радиотехника, 2009. 328 с.

17. Вендик О. Г., Парнес М. Д. Антенны с электрическим сканированием. М.: Сайнс-пресс, 2001. 232 с.

18. Пелевин А. О., Земляков В. В., Заргано Г. В. Исследование характеристик щелевой антенной решетки на основе П-волноводов // Антенны. 2018. № 3. С. 3–7.

19. Bozzi M., Georgiadis A., Wu K. Review of Substrate Integrated Waveguide (SIW) Circuits and Antennas // IET Microwaves, Antennas and Propagation. 2011. Vol. 5, № 8. P. 909–920. doi: 10.1049/iet-map.2010.0463

20. Пастернак Ю. Г. Разработка антенной решетки для мобильного терминала спутниковой связи. URL: https://cchgeu.ru/upload/iblock/211/itogovyy-otchet-po-proektu-razrabotka-antennoy-reshetki-dlya-mobilnogo-terminala-sputnikovoy-svyazi.pdf (дата обращения 01.11.2023).

21. Шифрин Я. С. Вопросы статистической теории антенн. М.: Сов. радио, 1970. 384 с.

22. Синтез амплитудно-фазового распределения в квазикольцевой антенной решетке / М. Р. Бибарсов, Е. В. Грибанов, Д. Д. Габриэльян, Ден. С. Федоров, Дан. С. Федоров // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2017. Вып. 2. С. 28–33.

23. Влияние локально плоских искажений излучающего раскрыва на диаграмму направленности фазированной антенной решетки / М. Р. Бибарсов, Г. Ш. Бибарсова, Д. Д. Габриэльян, С. В. Дворников, Д. С. Федоров // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2023. Т. 26, № 1. С. 17–25. doi: 10.32603/1993-8985-2023-26-1-17-25

24. Влияние ошибок формирования амплитудно-фазового распределения в раскрыве фазированной антенной решетки на точность пеленгации / М. Р. Бибарсов, Г. Ш. Бибарсова, Д. Д. Габриэльян, В. Н. Шацкий // Информация и космос. 2023. № 2. С. 18–23.

25. Крячко А.Ф., Аюков Б.А., Невейкин М.Е. Флюктуации направления главного максимума антенной решетки при отказах фазовращателей / Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве II Межд. Форум 9 ноября 2022 г. Сб. тезисов докладов. СПб, Изд-во ГУАП, с.142-145.

26. Аюков Б.А., Братухин И.Ю., Крячко А.Ф. Изменение амплитудно-фазового распределения на раскрыве антенной решетки при отказах фазовращателей / Труды международного симпозиума Надёжность и качество. 2023. т.1., – с.480-482.

27. Юрков Н.К., Кочегаров И.И., Трусов В.А. Разработка единой надежностно-ориентированной модели радиоэлектронных средств / Труды международного симпозиума Надёжность и качество. 2020.т.1., – с.19-21.

28. Жданов В.В. Метод наработки до отказа электронных компонентов по справочным данным / Труды международного симпозиума Надёжность и качество. 2018.т.1., – с.109-112.

УДК 681.518.3

Ануар Г.А.
Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан
galym_rma@mail.ru

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДАВЛЕНИЯ

Аннотация. Для повышения чувствительности и точности измерений полупроводниковых тензометрических датчиков давления авторы предложили использовать в качестве чувствительного элемента профилированную мембрану. Для исследования влияния геометрических параметров сечения мембраны на свойства датчика была создана имитационная модель чувствительного элемента полупроводникового датчика давления в программном пакете COMSOL Multiphysics. Определены оптимальные геометрические характеристики сечения профильной мембраны полупроводникового тензометрического датчика давления для получения максимальной чувствительности преобразователя.

Ключевые слова: полупроводниковый тензорезистивный датчик давления, чувствительный элемент, кремниевая мембрана, радиальное и тангенциальное механическое напряжение, имитационное моделирование

Anuar G.A.
L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
galym_rma@mail.ru

THE METHOD OF CONTROLLING THE STATE OF THE MEASURING TRANSDUCER PRESSURE INFORMATION AND MEASURING SYSTEM

Annotation. To increase the sensitivity and accuracy of measurements of semiconductor strain gauges, the authors proposed using a profiled membrane as a sensing element. To study the effect of the geometric parameters of the membrane cross-section on the properties of the sensor, a simulation model of the sensing element of a semiconductor pressure sensor in the COMSOL Multiphysics software package was created. The optimal geometric characteristics of the cross-section of the profile membrane of a semiconductor strain gauge pressure sensor have been determined to obtain the maximum sensitivity of the transducer.

Keywords: semiconductor strain-resistant pressure sensor, sensing element, silicon membrane, radial and tangential mechanical stress, simulation modeling

Введение. Современная техника и технологии были бы немыслимы без датчиков - устройств, измеряющих различные физические величины и преобразующих их значения в электрические сигналы. Датчики встречаются повсюду, от смартфонов, планшетов и смарт-часов до космических кораблей, и помогают компьютерам делать нашу жизнь проще и легче, предоставляя информацию об окружающем нас мире в режиме реального времени. Сердце" датчика - основная часть, отвечающая за его точность, выходной сигнал и другие характеристики, - это чувствительный элемент, который непосредственно преобразует неэлектрическую величину в электрическую (ток, напряжение или заряд). Наиболее распространенным типом устройств в различных областях техники является деформационный тип, который основан на том, что упругий элемент (балка, мембрана или пластина) деформируется при приложении к нему давления, создавая механическое напряжение, пропорциональное этому давлению.

Полупроводниковые чувствительные элементы тензорезистивного типа

Одним из наиболее распространенных чувствительных элементов в датчиках давления является полупроводниковый тензометрический чувствительный элемент. В наиболее распространенной конструкции тензодатчика используется мембрана с плоской диафрагмой и жестким центром. Более тонкая мембрана обеспечивает более высокую чувствительность. Однако толщина чувствительного элемента может быть уменьшена только до определенного предела, который ограничивается технологией производства и повторяемостью толщины мембраны. При уменьшении толщины пленки нелинейность зависимости механического напряжения от приложенного давления значительно возрастает, а следовательно, увеличивается и нелинейность функции преобразования. Линейность выходного сигнала и функции преобразования несколько улучшается при использовании мембран с жестким центром, однако их основным недостатком является то, что они чувствительны к ударам и вибрации, при этом жесткий центр действует как инерционная масса и вносит большие дополнительные погрешности. Моделирование мембраны. Для выхода из этой ситуации мы предложили моделировать в программном пакете COMSOL Multiphysics мембраны с более толстыми краями и более тонкими центрами, назвав их профильными и сравнив с плоскими мембранами того же радиуса. На рисунке 1 представлен эскиз профильной мембраны в миллиметрах [1]. Плоские мембраны имели радиус 1,5 мм и толщину 0,03 мм; к каждой мембране было приложено давление 0,2 МПа (это значение было выбрано, чтобы избежать повреждения мембраны).

Чтобы определить, какая мембрана обладает наилучшей чувствительностью, была построена зависимость разности радиальных и тангенциальных напряжений от

приложенного давления в единой системе координат (рис. 2). Сплошная линия соответствует зависимости разности напряжений от приложенного давления для профильной мембраны, а пунктирная линия - для плоской мембраны. График, представленный на рисунке 2, показывает, что профилированная мембрана обладает наибольшей чувствительностью (график зависимости значительно выше) [2]. Чтобы определить, когда профилированная мембрана имеет наибольшую чувствительность, мы начали изменять координаты шага (от узкого к широкому). Начиная с координаты шага 0,5 мм от центра мембраны, координаты изменялись с шагом 0,05 мм до 1,2 мм.

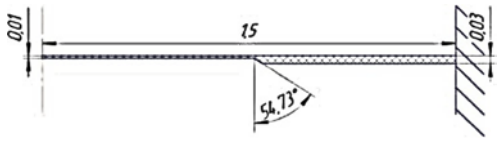


Рисунок 1 - Эскиз профилированной мембраны

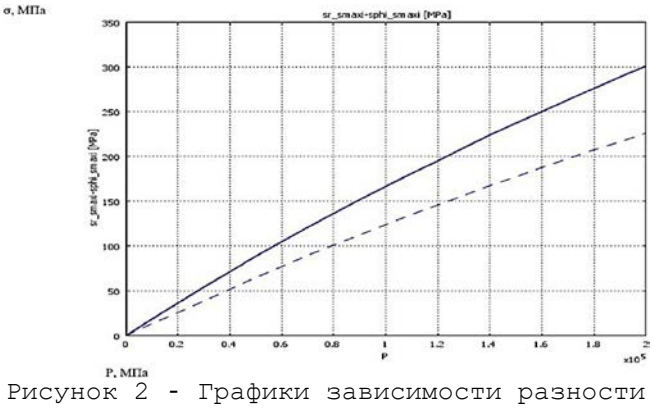


Рисунок 2 - Графики зависимости разности радиального и тангенциального напряжения

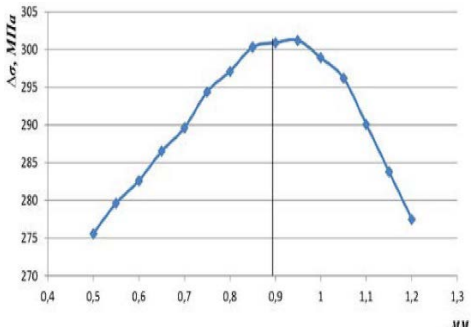


Рисунок 3 - График зависимости разности напряжений от координаты ступеньки

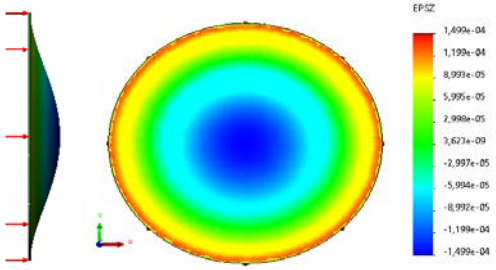


Рисунок 4 - Эпюра распределения зон максимальной деформации исходной мембраны чувствительного элемента

Для каждого случая строился график зависимости приложенного давления от разности радиальных и тангенциальных напряжений и определялось максимальное значение разности напряжений. Затем строился график зависимости разности напряжений от шага координат (рис. 3). Как видно из рисунка 3, профилированная мембрана имеет самую высокую точность при координате шага 0,95 мм от центра мембраны. Для сравнения профилированных и плоских мембран были рассчитаны их соответствующие чувствительности и ошибки линейности (отклонение от прямой линии кривой, описывающей реальный выходной сигнал, полученный при отклонении мембраны под действием давления 0,2 МПа). Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Результаты расчетов погрешность линейности выходного сигнала — Таблица 1

Тип мембраны	Погрешность линейности	Чувствительность
Профилированная мембрана.	3,33 %	1505,85
Плоская мембрана	2,88 %	1129,95

Из таблицы 1 видно, что профилированная мембрана обладает наилучшей чувствительностью 1505,85, однако погрешность линейности выходного сигнала немного выше, чем у плоской мембраны 3,33%. Заключение. Таким образом, профильная пленка обладает лучшей чувствительностью по сравнению с плоской пленкой, но ошибка линейности у профильной пленки на 0,5% выше. Дальнейшая работа над дизайном профильной пленки направлена на уменьшение ошибки линейности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недопекин, Н. В. Оценка влияния температуры окружающей среды на режимы работы резонатора волнового твердотельного гироскопа / Н. В. Недопекин // Надежность и качество сложных систем. - 2023. - № 1(41). - С. 126-132. - DOI 10.21685/2307-4205-2023-1-15. - EDN ZRFDLP.

2. Имитационное моделирование датчика разности давления / В. Н. Пономарев, А. А. Трофимов, К. И. Бастрыгин [и др.] // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. - 2022. - № 4(42). - С. 7-15. - DOI 10.21685/2307-5538-2022-4-1. - EDN WQMEMP.

3. Имитационное моделирование тензорезисторного датчика избыточных давлений / В. Н. Пономарев, К. И. Бастрыгин, А. А. Трофимов, С. А. Здобнов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. - 2022. - № 1(39). - С. 56-63. - DOI 10.21685/2307-5538-2022-1-7. - EDN UHGLON.

УДК 681.11.031.1

Филиппов[1] И.А., Пронин[2] И.А., Карманов[3] А.А., Якушова[4] Н.Д., Губич[5] И.А.

[1,2,3,4,5] Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

[1] iffilippoff@yandex.ru

[2] pronin_i90@mail.ru

[3] starosta07km1@mail.ru

[4] yand93@mail.ru

[5] nano-micro@pnzgu.ru

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСТОРОВ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТА «ОКСИД ЦИНКА-УГЛЕРОД»

Аннотация. Разработаны методики изготовления композита для гибридного суперконденсатора на основе порошка ZnO, полученного золь-гель методом. Синтезированы порошки ZnO золь-гель методом из разных предшественников: дигидрата ацетата цинка и хлорида цинка. Проведены исследования морфологии и химического состава порошков ZnO.

Ключевые слова: золь-гель метод, порошок ZnO, гибридный суперконденсатор, композитный электрод

Filippov[1]I.A., Pronin[2] I.A., Karmanov[3] A.A., Yakushova[4] N.D., Gubich[5] I.A.

[1,2,3,4,5] Penza State University, Penza, Russia

[1] iffilippoff@yandex.ru

[2] pronin_i90@mail.ru

[3] starosta07km1@mail.ru

[4] yand93@mail.ru

[5] nano-micro@pnzgu.ru

DEVELOPMENT OF HYBRID ELECTRODE MATERIAL FOR SUPERCAPACITORS BASED ON ZINC OXIDE-CARBON COMPOSITE

Annotation. Methods for producing a composite for a hybrid supercapacitor based on ZnO powder obtained by the sol-gel method have been developed. ZnO powders were synthesized by the sol-gel method from different precursors: zinc acetate dihydrate and zinc chloride. Studies have been carried out on the morphology and chemical composition of ZnO powders.

Keywords: Sol-gel method, ZnO powder, hybrid supercapacitor, composite electrode

Суперконденсаторы – это электрохимические накопители энергии занимающее промежуточное место между конденсаторами и батареями [1]. К основным их достоинствам можно отнести высокие удельные мощность и ёмкость энергии (относительно конденсаторов), долговечность и высокая циклическая стабильность, низкая токсичность в отличии от батарей [2-4]. Разделяют три типа суперконденсаторов в зависимости от механизма накопления заряда. К первому типу устройств относят суперконденсаторы на основе углеродных материалов таких, как активироанный уголь, углеродный аэрогель, углеродные нанотрубки и др., которые накапливают заряд посредством физической адсорбции, образуя двойной электронный слой [5,6]. Вторым видом являются суперконденсаторы на основе оксидов переходных металлов (RuO_2, MnO_2, IrO_2, ZnO) с накоплением заряда за счёт окислительно-восстановительных реакций [7,8]. У этих двух видов накопления заряда есть сильные и слабые стороны. Углеродные материалы обладают хорошей циклической стабильностью, высокой мощностью и низкой стоимостью, однако имеют низкую ёмкость по сравнению псевдокоемкостными суперконденсаторами. Псевдоконденсаторы имеют высокую теоретическую ёмкость, но, при этом, у них низкая циклическая стабильность и мощность относительно углеродных суперконденсаторов с двойным электронным слоем. Поэтому предложен третий вид – это гибридные суперконденсаторы, сочетающие в себе углеродные материалы и оксиды металлов. Существуют суперконденсаторы с асимметричными электродами, электродами аккумуляторного типа и композитными электродами [9,10]. Наибольший интерес представляют композитные электроды, так как они сочетают в себе псевдоемкостные и углеродные материалы, а также могут использоваться в сборках с другими электродами, имеющими уникальные свойства: аккумуляторные, псевдоемкостные или углеродные электроды.

Суперконденсаторы на сегодняшний день получили широкое распространение в различных приложениях, таких как рекуперация энергии, гибридные транспортные средства, портативная электроника, системы хранения возобновляемой энергии, электронный инструмент и т.д. В контексте же технологического обеспечения производства высоконадежной аппаратуры, суперконденсаторы могут использоваться для обеспечения резервного питания, улучшения стабильности работы системы и повышения ее надежности. Они также могут служить в качестве буферного элемента между источником питания и нагрузкой, снижая тем самым пиковые нагрузки и улучшая качество электроэнергии.

Целью данной работы является разработка гибридного электродного композита на основе оксида цинка золь-гель методом.

В качестве основного материала используется ZnO благодаря своим высоким электрохимическим свойствам, а также низкой себестоимостью и доступностью предшественников. Использование золь-гель метода в работе обусловлено возможностью получать однородные кристаллические структуры с контролем морфологии, а также является экологической чистой и простотой синтеза.

В рамках исследования были приготовлены порошки ZnO золь-гель методом из разных предшественников. По первой методике порошок был изготовлен из дигидрата ацетата цинка $(CH_3COO)_2Zn \cdot 2H_2O$ (серия М1). Для получения золя дигидрат ацетата цинка смешивали с органическими растворителями этиленгликолем, изопропанолом и моноэтанолоамином и получили золь, который в течении суток стабилизировался до геля. После этого смесь выпаривали при 250...350 °С в течении трёх часов и отжигали 5 часов при температуре 750 °С в муфельной печи. Порошок, изготовленный из предшественника $ZnCl_2$ (серия М2) был изготовлен по следующей схеме: хлорид цинка растворили в бензиловом спирте при постоянном перемешивании и дальнейшей стабилизации в течении 24 часов при 120 ℃. После этого смесь выпаривали при 200 градусах и отжигали в печи при 600 °С в течении 2 часов.

Структуру порошков ZnO исследовали методом растровой электронной микроскопии, микрофотографии представлены на рисунке 1.

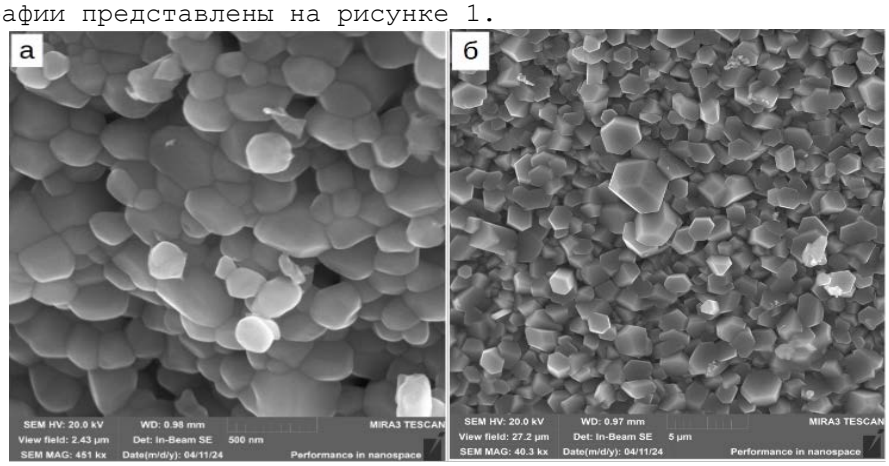


Рисунок 1 – Микрофотографии порошков ZnO: а) М1; б) М2

На микрофотографии порошка М1 видно, что частицы ZnO преимущественно представлены зёрнами размером порядка 100 – 400 нм с однородной морфологией. Порошок М2 преимущественно представлен поликристаллами с размерами 0,5 – 4 мкм.

Химический состав исследовали методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX), спектры представлены на рисунке 2.

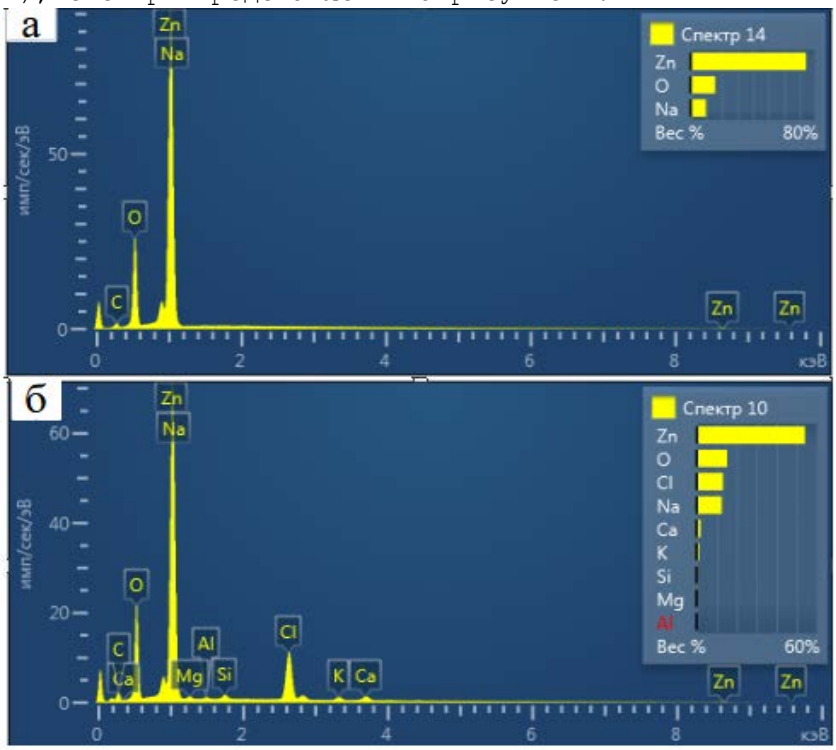


Рисунок 2 – EDX спектры порошков ZnO: а) М1; б) М2

Проанализировав спектры, представленные на рисунке 2, можно сделать вывод, что порошки преимущественно состоят из Zn на 75% для М1 и 55% для М2. Так образец М1 состоит, преимущественно, из атомов Zn и O, однако, имеется загрязнение около 10% Na. Порошок М2 так же преимущественно состоит из атомов Zn и O, однако, имеются загрязнения атомами Cl, которые, по всей видимости, остались от предшественника $ZnCl_2$; атомами Na, а также не в значительном количестве атомами Ca, K, Si, Mg и Al.

Таким образом, в ходе выполнения работ были разработаны методики изготовления порошка ZnO из предшественников $(CH_3COO)_2Zn \cdot 2H_2O$ и $ZnCl_2$. Были исследованы структура и химический состав порошков, изготовленных по данным методикам. Полученные материалы имеют перспективу применения в качестве композитных электродов суперконденсаторов нового поколения.

Работы выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям (договор №5ГУПКЭС18/91720от 27.12.2023).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sharma P., Bhatti T. S. A review on electrochemical double-layer capacitors // Energy conversion and management. – 2010. – Т. 51. – №. 12. – P. 2901-2912.

2. Кошелев, Н. Д. Специфика и особенности применения литий-ионных аккумуляторных батарей на электростанциях / Н. Д. Кошелев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2021. - Т. 2. - С. 269-272.

3. Моделирование графиков разряда Li-S аккумуляторов посредством управления искусственных нейронных сетей / Н. Д. Кошелев, К. С. Новиков, А. Алхатем [и др.] // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2022. - Т. 1. - С. 106-108

4. Кошелев, Н. Д. Контроль литий-ионных аккумуляторных сборок высокой мощности / Н. Д. Кошелев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2021. - Т. 2. - С. 272-274.

5. Wu J. Understanding the electric double-layer structure, capacitance, and charging dynamics // Chemical Reviews. – 2022. – Т. 122. – №. 12. – P. 10821-10859.

6. Daraghme A. et al. Carbon nanocomposite electrodes for an electric double-layer capacitor // Journal of Energy Storage. – 2020. – T. 32. – P. 101798.

7. Jiang Y., Liu J. Definitions of pseudo-condensate materials: a brief overview // Materials on energy and environmental protection. – 2019. – T. 2. – No. 1. – P. 30-37.

8. Bhojan P. Recent advances and fundamentals of pseudocapacitors: materials, mechanism and its understanding // Journal of Energy Storage. – 2022. – T. 45. – P. 103654.

9. Chatterjee D. P., Nandi A. K. Review of recent advances in the field of hybrid supercapacitors // Journal of Materials Chemistry A. - 2021. - Vol. 9. - No. 29. – P. 15880-15918.

10. Muzaffar A. et al. Review of recent advances in hybrid supercapacitors: design, fabrication and application // Reviews of Renewable Energy and Sustainable Energy. – 2019. – T. 101. – P. 123-145.

УДК 621.317.7.089.68

Ильин А.С.
Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
aalexeiil@mail.ru

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОВЕРКИ КИЛОВОЛЬТМЕТРОВ

Аннотация. Рассматриваются вопросы разработки информационно-измерительной системы проверки киловольтметров.
Ключевые слова: Информационно-измерительная система, высокое напряжение, режим работы, нагрев, время, погрешность

Ilin A.S.
Penza State University, Penza, Russia
aalexeiil@mail.ru

DEVELOPMENT OF INFORMATION-MEASURING SYSTEM CALIBRATION OF KILOVOLTMETERS

Annotation. The issues of developing an information and measuring system for checking voltage meters are considered.
Keywords: Information-measuring system, high voltage, operating mode, heat, time, error

В связи с непрерывным ростом и развитием электроэнергетики происходит модернизация и обновление средств измерения высокого напряжения, применяемых в контроле и диагностике высоковольтного оборудования. Применение высоких напряжений в промышленности, науке, медицине и космической технике, также способствует развитию новых высоковольтных средств измерений. При этом они должны соответствовать всем требованиям качества и удовлетворять всем метрологическим характеристикам. Кроме того, метрологическое обеспечение средств измерений должно осуществляться на всех этапах жизненного цикла объектов электросетевого комплекса (проектирование, ввод в эксплуатацию, постоянная эксплуатация, утилизация) [1].

В настоящее время создание и широкое распространение новых средств измерений высоких (до 30 кВ) напряжений классов 1, 0,5% вызывает настоятельную необходимость в модернизации их метрологического обеспечения. Совершенствование метрологического обеспечения осуществляется за счет применения цифровых технологий измерения, модернизации морально устаревшего измерительного оборудования, а также обеспечения с повышенной точностью измерений электрических величин.

Целью является разработка и исследование ИИС поверки киловольтметров. Задачи исследования:

- провести анализ методов измерения высокого напряжения и методик поверки высоковольтного оборудования;
- провести анализ систем поверки высоковольтного оборудования и установок поверки киловольтметров;
- разработать структурную схему ИИС поверки киловольтметров;
- разработать алгоритм работы ИИС поверки киловольтметров;
- разработать методику поверки киловольтметров, позволяющую работать с автоматической установкой для поверки киловольтметров, сокращающую работу в 2 раза;
- анализ погрешности ИИС поверки киловольтметров;
- внедрить результаты исследований в виде реализованной ИИС поверки киловольтметров и ее методики поверки.

Научная новизна заключается в:

- разработке алгоритма функционирования ИИС поверки киловольтметров, отличающийся учетом регулирования времени воздействия напряжения на объект измерения, временем выдержки до воздействия напряжения и т.д., что позволяет устанавливать количество точек, в которых производится измерение и т.д.
- разработке структуры ИИС поверки киловольтметров, отличающаяся синхронизацией по времени измерений и т.д., что позволяет снизить погрешность измерения и весогабаритные характеристики установки и т.д.
- уточнении математической модели погрешности измерений, учитывающая влияние теплового нагрева и напряжения на результат измерений.
- разработке методики поверки ИИС поверки киловольтметров.

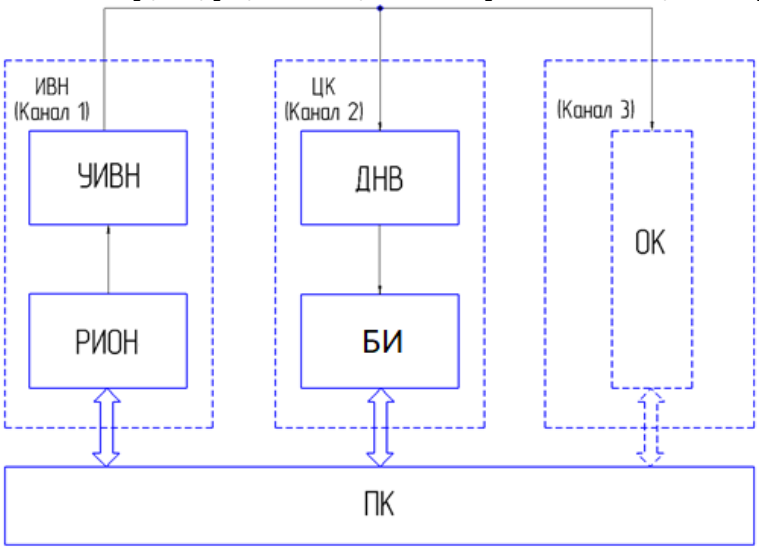
Практическая значимость исследования заключается повышении точности определения амплитуды постоянного напряжения до 0,1 %, путем внедрения трехканальной ИИС поверки киловольтметров. Разработанная прикладная программа позволяет автоматически проводить процесс поверки, что сокращает время работы в 2 раза.

На данный момент на рынке по продаже высоковольтной техники существуют две модели установки поверки киловольтметров УПК-100 и У-400, производства 80-х годов прошлого столетия. Установки хотя и обладают хорошими метрологическим

характеристиками, но морально и физически устарели. Такие недостатки, как большая масса, а также огнеопасность при применении трансформаторного масла, токсичность и химическая активность материала изоляции, неустойчивость метрологических характеристик к процессам теплового и электрического старения, опасны для дальнейшей эксплуатации данных систем. Упомянутые установки имеют значительные весогабаритные характеристики, например, УПК-100 (масса 600 кг) и У-400 (масса 400 кг), что вызывает необходимость использования специальной защитной экранированной комнаты. Еще одним существенным недостатком установок в современном мире является единственное ручное управление.

Результатом поиска путей решения поставленной проблемы была разработка и создание компактной ИИС поверки киловольтметров УПК-30ПТ (масса менее 40 кг), работающей в ручном и автоматизированном режимах. Диапазон воспроизведений и измерений напряжения постоянного тока от 1 до 30 кВ [2]. Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения постоянного тока составляют ± 0,1%. Данная ИИС заменяет в вышеуказанном диапазоне напряжений установку УПК-100 и разработанную позднее У400. При этом ИИС рассматривается как трехканальная измерительная система, управляемая персональным компьютером (ПК), один из каналов которой воспроизводит заданное оператором напряжение, а два других преобразовывают и передают измерительную информацию с образцового и поверяемого киловольтметров на ПК. Результаты измерений сравниваются и сохраняются в памяти ПК или в виде протокола измерений на бумажном носителе.

Анализ методов поверки средств измерений, а также видов измерительных систем, позволил разработать структурную схему ИИС, представленную на рис 1.



ИВН – источник высокого напряжения;
УИВН – управляемый источник высокого напряжения;
РИОН – регулируемый источник опорного напряжения;
ЦК – образцовый цифровой киловольтметр;
ДНВ – делитель напряжения высоковольтный;
БИ – блок измерительный киловольтметра;
ОК (Канал 3) – объект контроля; ПК – персональный компьютер.

Рисунок **1** - Структурная схема ИИС поверки киловольтметров

В состав ИИС поверки киловольтметров входят: регулируемый источник опорного напряжения (РИОН), блок измерительный цифрового киловольтметра (БИ), управляемый источник высокого напряжения (УИВН), высоковольтный делитель напряжения (ДНВ), персональный компьютер (ПК).

ИИС представляет трехканальную систему измерения под управлением персонального компьютера (ПК):

- канал 1 (источник высокого напряжения) воспроизводит высокое напряжение, задаваемое ПК;
- канал 2 (эталонный киловольтметр) преобразует воспроизводимое напряжение до уровня, измеряемого эталонным вольтметром, и передает результаты измерений на ПК;
- канал 3 (поверяемый киловольтметр) преобразует воспроизводимое напряжение до уровня, измеряемого поверяемым вольтметром, и передает результаты измерений на ПК;
- ПК формирует временной процесс работы системы, и обрабатывает полученные по каналам 1 и 2 данные.

Измерения в каналах 2 и 3 производятся одновременно. Результаты измерений ПК сравнивает друг с другом. Разница между результатами измерений определяет погрешность поверяемого устройства.

Для увеличения точности ИИС при длительном воздействии высокого напряжения предлагается сравнить длительный и повторно-кратковременный режимы работы.

На рис. 2 кривые изменения нагрева Θ от времени воздействия высокого напряжения t при длительном режиме работы.

а)

б)

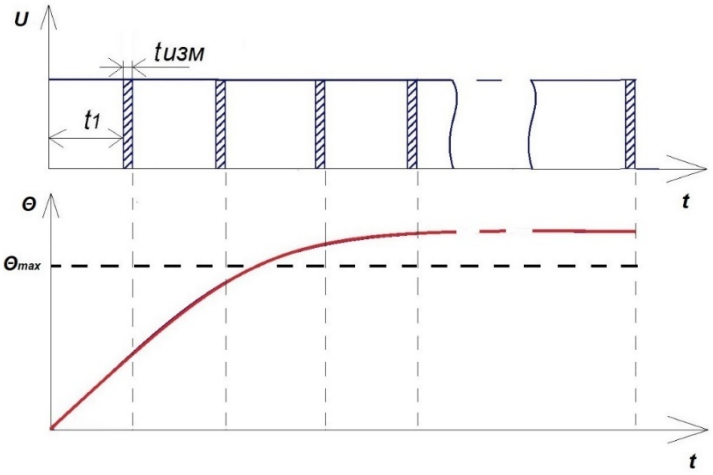


Рис. 2 - Длительный режим работы:
а) амплитуды воздействия высокого напряжения; б) перегрева блоков ИИС

Превышение температуры нагрева при длительном режиме может оказывать существенное влияние на изменение метрологических характеристик системы.

На рис. 3 кривые изменения нагрева Θ от времени воздействия высокого напряжения t в повторно-кратковременном режиме работы.

а)

б)

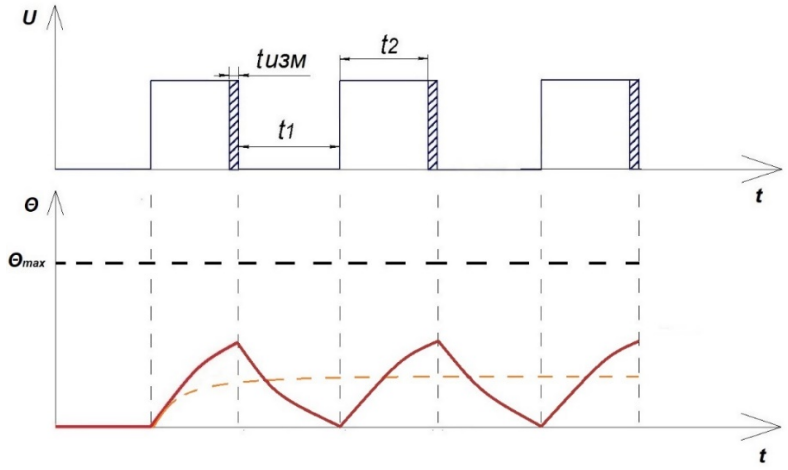


Рисунок 3 - повторно-кратковременный режиме работы: а) амплитуды воздействия высокого напряжения; б) перегрева блоков ИИС

Повторно-кратковременный режим работы характеризуется временем до подачи высокого напряжения t_1 и временем до измерения t_2 (рис.3.а). Кратковременное воздействие не приводит к разогреву. После воздействия температура падает до значения температуры окружающей среды (рис.3.б). Этот режим позволяет избежать нагрева блоков и линий связи ИИС. Вследствие этого отсутствует зависимость погрешности измерения от температуры нагрева.

Для проверки рассматриваемых режимов работы измерительные каналы подвергались воздействию постоянного (длительный режим) и прерывистого (повторно-кратковременный режим) высокого напряжения, воспроизводимого источником высокого напряжения.

Зависимость отклонения погрешности измерения ИИС во времени в различных режимах работы представлены на рис. 4.

Анализ функций $\delta = f(t)$ показывает, что при работе системы в длительном режиме (синий график), по истечению времени более 6 часов, изменение δ относительно первоначального значения составляет 0,08%. При работе в повторно-кратковременном режиме (красный график), по истечению времени более 6 часов, изменение δ относительно первоначального значения не превышает 0,01% [3]. Благодаря оптимальному соотношению временных интервалов (время до подачи напряжения t_1 / время

выдержки под напряжением t_2), режим позволяет снизить температуру нагрева и повысить точность измерения системы.

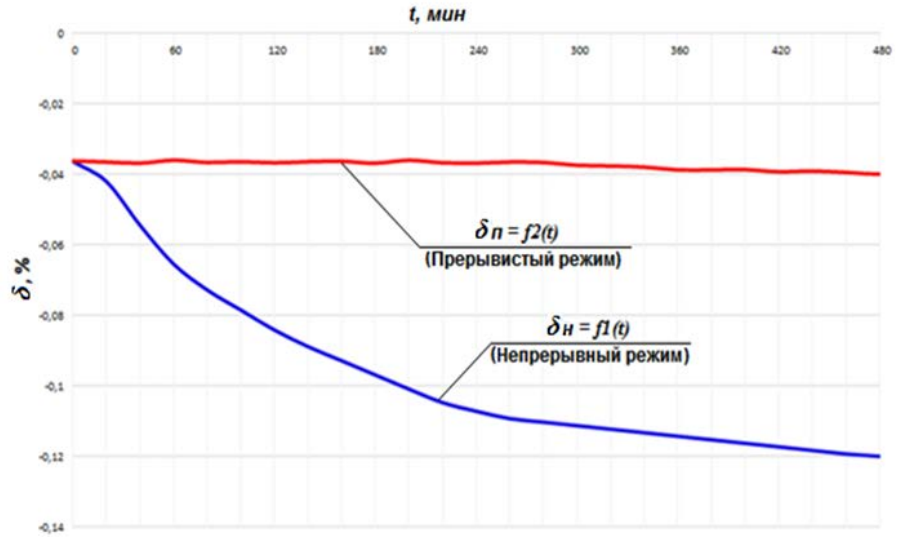


Рисунок 4 - Относительная погрешность измерения ИИС при различных режимах работы

Проведенный анализ режимов показывает преимущество повторно-кратковременного режима работы, обеспечивающий точность измерений при условии отсутствия перегрева компонентов ИИС поверки киловольтметров.

Выбор наиболее подходящего повторно-кратковременного режима работы, не оказывающего теплового влияния на погрешность измерения, выявил необходимость построения ИИС [4], включающей: регулировку временного режима работы каналов системы, синхронизацию процессов измерения в измерительных каналах и математическую обработку результатов измерений (рис.2.а) [5]. Форма воспроизводимых напряжений и длительность воздействия на каналы выбираются из условий обеспечения безопасности работы оператора в диапазоне напряжений в течение заданного времени работы, соответствия технической документации на СИ.

Регулировка длительности воздействия напряжения U позволяет устанавливать соотношения интервалов времени t_1 *и* t_2, в которых значение δ не превышает заданного на ИИС значения [3].

Время выдержки под напряжением t_2 намного больше времени измерений $t_{изм}$, включающее время самого измерения 1 секунду и время действия напряжения после завершения измерения 0,5 секунды. Исходя из этого, время выдержки под напряжением и время до измерения напряжения с момента начала выдержки принимаются равными.

Пауза t_1 позволяет привести в исходное состояние компоненты измерительной системы. Интервал более 1 минуты не оказывает существенное влияние на относительную погрешность системы.

Зависимость относительной погрешности измерений от времени воздействия напряжения описывается формулой:

$$\delta = f(t_1/t_2, U)$$

где t_1 – время до подачи напряжения; t_2 – время до измерения; U – значение амплитуды напряжения.

Для оценки относительной погрешности измерений используется метод непосредственного сличения образцового и контролируемого СИ [6]. Увеличение точности сравнения достигается введением синхронизации процесса измерения, позволяющая производить измерение величины в одной временной точке.

Для проверки выбранного повторно-кратковременного режима работы ИИС, в качестве поверяемого СИ выбран вольтметр В7-40 с входящим в комплектацию делителем напряжения высокого напряжения. Определим область значений временных интервалов для относительной погрешности измерения напряжений постоянного тока системы δ < 0,1%. Исходными данными для оценки погрешности выбраны временные интервалы (t_1 = 1 мин, t_2 = 1/12; 0.5; 1; 2; 3; 4; 5 мин).

Использование повторно-кратковременного режима позволяет повысить точность измерения с помощью управляющей программы путем сокращения временных интервалов в процессе измерений и автоматизировать процесс поверки, а также устанавливать соотношения интервалов времени t_1 *и* t_2, в которых значение $\delta_н$ не превышает заданного ИИС значения.

На рис.5 показано распределение относительной погрешности измерения в диапазоне временных интервалов работы системы от воздействия напряжения.

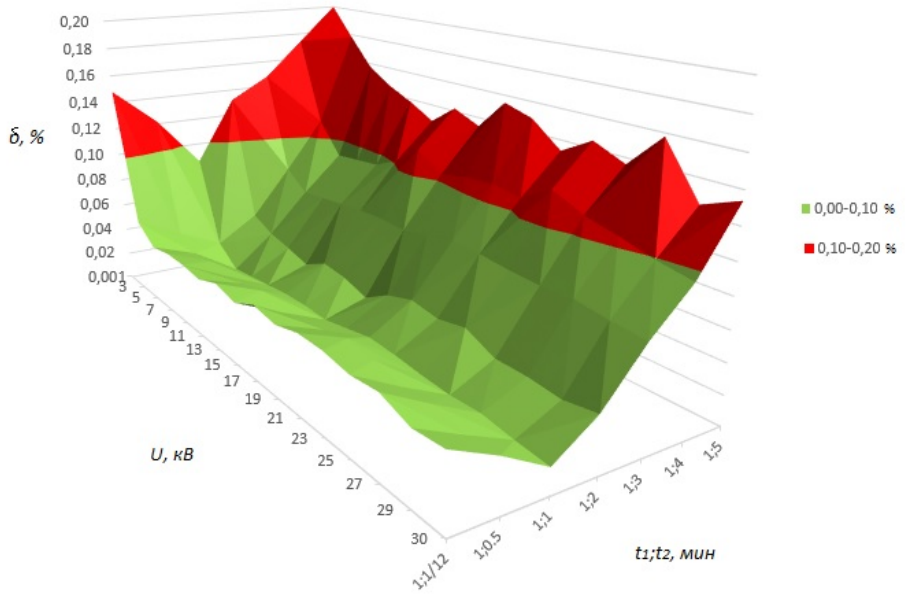


Рисунок 5 - Распределение относительной погрешности измерения в диапазоне временных интервалов работы системы от воздействия напряжения

На рис.6 представлен алгоритм работы ИИС поверки киловольтметров.

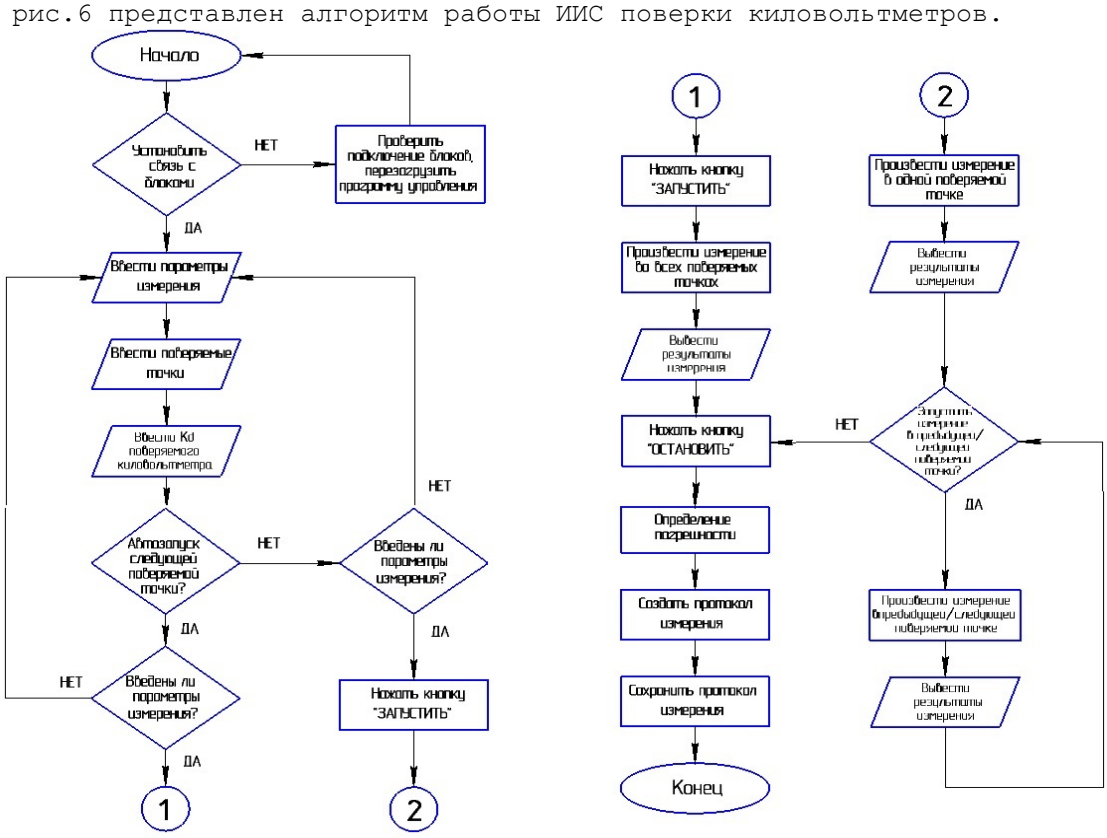


Рисунок 6 - Алгоритм работы ИИС поверки киловольтметров

Реализацией алгоритма работы ИИС является специальное ПО для работы в автоматическом режиме с помощью ПК (рис.7). На главной форме управляющей программы расположен блок ввода параметров измерения, блок управления измерением, блок состояния измерения, окно результатов измерения.

В блоке «Параметры измерения» оператор может задать: - время до подачи напряжения на объект; - время до проведения измерений; - точки проверяемые;

- напряжение в проверяемых точках; - коэффициент деления делителя поверяемого киловольтметра; - автозапуск прохождения следующей контрольной точки.

На рис.8 показан внешний вид ИИС поверки киловольтметров. Испытательным центром ФГУП «ВНИИМС» были проведены испытания в целях утверждения типа средств измерений. При проведении проверки в канале 3 вместо объекта контроля использовался государственный вторичный эталон единицы электрического напряжения постоянного тока (ГЭТ) и вольтметр В7-78/1.

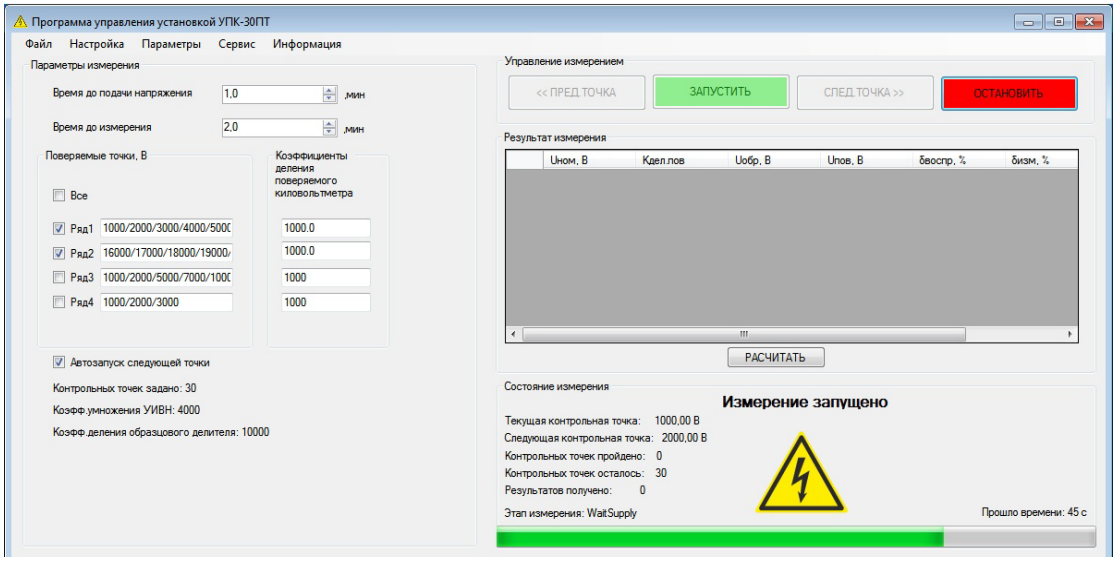


Рисунок 7 - Рабочее окно управляющей программы ИИС



Рисунок 8 - Внешний вид ИИС поверки киловольтметров

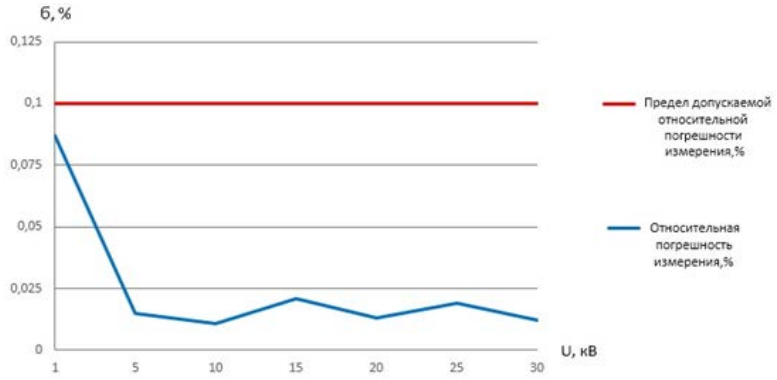


Рисунок 9 - Относительная погрешность измерения ИИС

На диаграмме представлена относительная погрешность измерения. Следует отметить, что данная погрешность не превышает установленного значения 0,1%. Установлено, что в диапазоне 5-30 кВ. погрешность не более 0,025% (рис.9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. High-Voltage Test and Measuring Techniques / Wolfgang Hauschild, Eberhard Lemke, doi: 10/1007/978-3-642-45352-6, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

2. Установка для поверки киловольтметров УПК-30ПТ. Описание типа СИ. Номер в ГРСИ РФ: 77593-20. URL: https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/1140753

3. Погрешность измерений. Классификация // Измерения // Метрология // Главная // сайт info.metrologu.ru – URL: https://info.metrologu.ru/spravochnik/metrologiya/izmereniya/klassifikaciya_pogreshnostey_izmereniy

4. Ильин А. С. Установка для поверки киловольтметров УПК-30ПТ / А. С. Ильин, И. А. Кострикина, А. П. Воронов, Р. Ф. Плаксунов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 4 (34). – С. 44–50. doi: 10.21685/2307-5538-2020-4-5.

5. Ильин А. С. Алгоритм работы установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ / А. С. Ильин, Н. К. Юрков, В. Я. Баннов, Р. Ф. Плаксунов, А. П. Воронов // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» – 2020. – том 2. – С. 303–305.

6. Методы поверки. Метод непосредственного сличения двух СИ // Метрология // сайт metrologyia.ru. URL: http://metrologyia.ru/?page_id=4

УДК 004.932.2

Григорьев[1] А.В., Чакшов[2] А.О., Бакенов[3] О.

[1,2,3] Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

[1] kipra@pnzgu.ru

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПЛОЩАДИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТЕСТОВОГО ФРАГМЕНТА КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Аннотация. Статья посвящена проблеме оценивания погрешности дискретизации при измерении площади изображения. В частности, рассматривается специфика изображения тестового фрагмента круглой формы для применения, например, в системах дистанционного вибрационного мониторинга объектов. В постановочной части статьи в обоснование актуальности измерения именно площади изображения приводится тот факт, что при непосредственном измерении радиуса изображения круглой формы не представляется возможным достичь уровня погрешности измерений, меньшей, чем половина растровой единицы, то есть расстояния между центрами соседних пикселов. Показано, что при измерении площади изображения методом простого подсчета пикселов в качестве размерности результата целесообразно принимать растровую единицу в квадрате. В статье выведены и проанализированы математические формулы для измерения площади и радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы. При этом представляется возможным измерение площади изображения связной области произвольной формы и радиуса ее равновеликого круга. Это свойство метода измерения радиуса изображения через его площадь весьма актуально, в частности, при анализе изображений, форма которых близка к круглой, например, изображения тестового фрагмента круглой формы с вибрационным размытием. Снижение погрешности за счет измерения радиуса изображения через его площадь без усложнения аппаратной части информационно-измерительной системы проиллюстрировано конкретным числовым примером. Приведен анализ формирования элементарной погрешности измерения площади изображения в результате его сегментации, в частности, бинаризации. Методами математического моделирования и математической статистики выведены и проанализированы формулы, предназначенные для прогнозирования погрешности измерения площади изображения путем простого подсчета составляющих его пикселов.

Ключевые слова: изображение, связная область, бинаризация, сегментация, измерение, погрешность, вибрация, мониторинг, состояние, объект контроля, круглая метка, тестовый фрагмент

Grigoriev[1] A.V., Chakshov[2] A.O., Bakenov[3] O.

[1,2,3] Penza State University, Penza, Russia

[1] kipra@pnzgu.ru

ESTIMATION OF DISCRETION ERROR WHEN MEASURING THE IMAGE AREA OF A ROUND TEST FRAGMENT

Annotation. The article is devoted to the problem of estimating the sampling error when measuring the image area. In particular, the specificity of the image of a round test fragment, which is used in vibration monitoring systems for objects, is considered. In the production part of the article, in support of the relevance of measuring the area of the image, the fact is cited that when directly measuring the radius of a circular image, it is not possible to achieve a level of measurement error less than half a raster unit, that is, the distance between the centers of adjacent pixels (standard term). It is shown that when measuring the area of an image by simply counting pixels, it is advisable to take the raster unit squared as the dimension of the result. The article derives and analyzes mathematical formulas for measuring the area and radius of the image of a round test fragment. In this case, it seems possible to measure the image area of a connected region of arbitrary shape and the radius of its equal-sized circle. This property of the method of measuring the radius of an image through its area is very relevant, in particular, when analyzing images whose shape is close to round, for example, images of a test fragment of a round shape with vibration blur. Reducing the error by measuring the radius of the image through its area without complicating the hardware of the information-measuring system is illustrated with a specific numerical example. An analysis of the formation of an elementary error in measuring the image area as a result of its segmentation, in particular, binarization, is presented. Using the methods of mathematical modeling and mathematical statistics, formulas were derived and analyzed to predict the error in measuring the area of an image by simply counting its constituent pixels.

Keywords: image, connected area, binarization, segmentation, measurement, error, vibration, monitoring, state, control object, round mark, test fragment

Введение. Вибрационный метод дистанционного мониторинга состояния объектов, как техногенных, так и природных, является актуальной темой в плане повышения надежности и качества техногенных объектов, а также безопасности человеческой жизнедеятельности вообще. В статье [1] говорится о неисчерпаемых возможностях систем обнаружения, слежения, мониторинга и диагностики, использующих в качестве источника первичного сигнала видеокамеры. Применение методов обработки видеопотоков, отображающих один и тот же тестовый объект круглой формы для измерения параметров вибрации, описывается в статьях [2-6]. Например, в статье [7] выполнено обоснование того факта, что систематическое отслеживание ухода параметров зеркальных антенн, происходящего по причине случайных погрешностей изготовления этих изделий, существенно повышает показатели их надежности и качества. При этом используются не только интегральные методы математической статистики, но и методы структурного морфологического анализа, применяемые при решении задач обнаружения латентных дефектов печатных плат [8]. Анализу изображения с вибрационным размытием предшествует процесс сегментации исходного полутонового изображения, основные методики которого представлены в статьях [9-13]. Статья [3] обращает внимание на тот факт, что при прямом измерении радиуса

изображения тестового фрагмента круглой формы достичь уровня погрешности, меньшей, чем половина **растровой единицы** не представляется возможным. Под растровой единицей стандарт [14] подразумевает расстояние между центрами соседствующими между собой в строке или столбце растровой матрицы пикселов. Именно количеством таких расстояний данный стандарт предписывает измерять все линейные размеры на изображениях. В настоящей статье количество растровых единиц будет обозначаться ***run*** – от английского ***«raster unit»*** – растровая единица. С целью снижения погрешности дискретизации изображения при измерении вибрационного приращения радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы, применяют вариант косвенного измерения радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы. Измерение осуществляют в три этапа. На первом этапе определяют площадь изображения тестового фрагмента. Площадь изображения измеряют количеством пикселов, это изображение составляющих. Ее размерность [run^2] – квадратная растровая единица. Площадь изображения удобно определять путем простого подсчета пикселов, составляющих это изображение, в процессе сканирования всей растровой матрицы:

$$S_{c,k} = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \xi_{c,k,i,j}, \quad (1)$$

где c – идентификатор типа видеопотока кадров, принимающий значение, равное единице, если в составе видеопотока кадры, отснятые при пассивном источнике тестовой вибрации, и двум, если в составе видеопотока кадры, отснятые при активном источнике тестовой вибрации; k – порядковый номер кадра в видеопотоке; $S_{c,k}$ – площадь изображения тестового фрагмента в составе кадра с порядковым номером k видеопотока, тип которого определяется идентификатором c; i и j – координаты пиксела в растровой матрице изображения: порядковые номера строки и столбца, на пересечении которых расположен пиксел, соответственно; $\xi_{c,k,i,j}$ – функция, принимающая значение, равное $1run^2$, если пиксел с координатами (c,k,i,j) принадлежит изображению тестового фрагмента, и нулю в противном случае. То есть:

$$\xi_{c,k,i,j} = \begin{cases} 1run^2, \ pix_{c,k,i,j} \in imt_{c,k} \\ 0, \ pix_{c,k,i,j} \notin imt_{c,k} \end{cases}, \quad (2)$$

где $pix_{c,k,i,j}$ – пиксел с координатами (c,k,i,j); $imt_{c,k}$ – изображение тестового фрагмента в составе кадра с порядковым номером k, принадлежащего видеопотоку, тип которого определяется идентификатором c.

На втором этапе вычисляют радиус изображения тестового фрагмента по формуле:

$$l_{c,k} = \sqrt{\frac{S_{c,k}}{\pi}} \quad (3)$$

На третьем этапе вычисляют вибрационное приращение радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы:

$$L_{1,k} = l_{2,k} - l_{1,k}, \quad (4)$$

где $L_{1,k}$ – вибрационное приращение радиуса изображения с порядковым номером k. Первый индекс «1» указывает на то, что $L_{1,k}$ – элемент вектор-строки.

Применение в этой методике косвенного измерения вибрационного приращения радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы имеет ряд преимуществ, из которых наиболее значимыми являются два.

1) Погрешность измерения во много раз ниже по сравнению с измерением той же величины при прямом измерении радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы, когда погрешность измерения радиуса не может быть меньше половины растровой единицы. А если, например, при описанном выше косвенном измерении радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы, площадь изображения тестового фрагмента круглой формы при пассивном источнике тестовой вибрации составила: $S_{1,k}=10^4 run^2$. А при активном источнике тестовой вибрации она составила: $S_{2,k}=(10^4+1)run^2$. Тогда после последовательных вычислений по формулам (3) и (4) результат: $L_{1,k}=2{,}821 \cdot 10^{-3} run$. То есть в тысячных долях растровой единицы. При этом, чем больше площадь изображения в run^2, тем больше выигрыш в точности оценки величины радиуса.

2) В реальных измерениях нет ничего абсолютно точного. И абсолютно круглого. Если форма изображения тестового фрагмента отличается от круглой, то в результате получится среднее значение радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы. Точнее это будет радиус круга, равновеликого изображению тестового фрагмента. Сказанное относится не только к изображениям, форма которых близка к круглой, но и вообще к любым связным областям произвольной формы.

Исходное полутоновое изображение тестового фрагмента круглой формы подвергается бинаризации. При этом и то, и другое изображение является дискретным. Если же представить исходное непрерывное изображение до бинаризации и после, то в первом случае контур непрерывного изображения представляет собой плавную окружность, а во втором – ломаную линию. Такое преобразование объясняется тем, что

растровый элемент (пиксел) либо принадлежит результирующему бинарному изображению полностью, либо не принадлежит ему совсем. Частично принадлежать дискретному бинарному изображению пиксел не может по определению. Критерий принадлежности или не принадлежности пиксела результирующему бинарному изображению следующий: если большая часть пиксела принадлежит бинарному изображению, то и весь пиксел считается ему принадлежащим. Если же большая часть пиксела не принадлежит непрерывному бинарному изображению, то и весь пиксел считается ему не принадлежащим. Элементарная погрешность дискретизации изображения ε_d представляет собой ту часть площади пиксела, которая добавляется к истинному непрерывному изображению. Эта элементарная погрешность ε_d может быть как положительной, так и отрицательной. Если, например, меньшая часть пиксела находится за пределами истинного непрерывного изображения, то весь пиксел принадлежит результирующему дискретному изображению. Таким образом, данный пиксел прибавляет площадь к истинному непрерывному изображению. То есть в этом случае $\varepsilon_d \geq 0$. Если же меньшая часть площади пиксела лежит в пределах истинного непрерывного изображения, то весь пиксел располагается за пределами результирующего дискретного изображения. При этом та, меньшая часть пиксела, которая находится в пределах истинного изображения, но за пределами результирующего, вычитается из истинного изображения. То есть элементарная погрешность $\varepsilon_d \leq 0$. Предельная элементарная погрешность дискретизации каждого пиксела: $\Delta\varepsilon_d = 0{,}5run^2$. При этом равновероятно, в каком месте пиксела его пересечет непрерывный контур. Из вышеизложенного следует, что случайная погрешность дискретизации каждого периферийного по отношению к исходному непрерывному изображению тестового фрагмента круглой формы пиксела равномерно распределена в пределах: $[-0{,}5run^2; 0{,}5run^2]$. Отсюда, принимая во внимание $\Delta\varepsilon_d = 0{,}5run^2$:

$$D(\varepsilon_d) = \frac{(2\Delta\varepsilon_d)^2}{12} = \frac{4(\Delta\varepsilon_d)^2}{12} = \frac{(\Delta\varepsilon_d)^2}{3} = \frac{(0{,}5run^2)^2}{3} = \frac{0{,}25run^4}{3}. \quad (5)$$

Элементарная погрешность ε_d представляет собой погрешность, вносимую каждым периферийным пикселом в общую погрешность измерения площади изображения тестового фрагмента круглой формы. Эти погрешности суммируются с учетом знака, поэтому положительные и отрицательные элементарные погрешности частично компенсируют друг друга. По формуле (5), принимая во внимание, что дисперсия суммы независимых случайных величин равна сумме дисперсий каждой из этих случайных величин:

$$D(S_{c,k}) = D(\varepsilon_d) \cdot N_{pit} = \frac{0{,}25run^4}{3} N_{pit} \quad (6)$$

где N_{pit} – количество периферийных пикселов изображения тестового фрагмента круглой формы.

$$N_{pit} = \frac{2\pi l_{c,k}}{M(l_{pix})} \quad (7)$$

где $M(l_{pix})$ – математическое ожидание длины сечения периферийного пиксела контуром изображения тестового фрагмента круглой формы.

А поскольку:

$$M(l_{pix}) = \frac{\sqrt{2}}{2} run, \quad (8)$$

$$N_{pit} = \frac{2\pi l_{c,k}}{M(l_{pix})} = \frac{2\pi l_{c,k} \cdot 2}{\sqrt{2} run} = 2\pi\sqrt{2} run^{-1} l_{c,k}[run]. \quad (9)$$

Отсюда, принимая во внимание (6):

$$D(S_{c,k})[run^4] = \frac{0{,}25run^4}{3} \cdot 2\pi\sqrt{2} run^{-1} l_{c,k}[run] = \frac{0{,}5\pi\sqrt{2}}{3} run^3 l_{c,k}[run]. \quad (10)$$

То есть, если в формулу (10) подставить значение $l_{c,k}$, выраженное в растровых единицах, то дисперсия измерения площади изображения тестового фрагмента круглой формы получится в растровых единицах в четвертой степени, что, в общем-то, соответствует теории: если сама случайная величина выражена в run^2, то ее дисперсия как раз и будет измеряться в run^4.

Из формулы (10) следует, что:

$$\sigma(S_{c,k})[run^2] = \sqrt{\frac{0{,}5\pi\sqrt{2}}{3}} run^{3/2} \sqrt{l_{c,k}[run]}, \quad (11)$$

где $\sigma(S_{c,k})[run^2]$ – среднеквадратичное отклонение измеренного значения площади $S_{c,k}$ изображения тестового фрагмента круглой формы, выраженное в квадратных растровых единицах. Поскольку элементарная погрешность дискретизации изображения тестового фрагмента с вибрационным размытием является равномерно распределенной случайной величиной, суммарная погрешность измерения площади изображения тестового фрагмента круглой формы, в соответствии с законом больших чисел, распределена по закону нормальному. Исходя из этого и принимая во внимание формулу (11):

$$\Delta_P S_{c,k}[run^2] = u_\alpha \sqrt{\frac{0{,}5\pi\sqrt{2}}{3} l_{c,k}[run]}, \quad (12)$$

где $\Delta_P S_{c,k}$ – погрешность измерения $S_{c,k}$ при доверительной вероятности P; u_α – квантиль стандартного нормального распределения уровня α, определяемый по табл. А.1 [15]. При этом:

$$\alpha = \frac{P+1}{2}. \quad (13)$$

Заключение. В статье обосновывается актуальность вибрационного метода дистанционного мониторинга техногенных и природных объектов. Статья указывает на большое значение разрабатываемого в настоящее время метода дистанционного вибрационного мониторинга, в основу которого положено исследование изображения тестового фрагмента круглой формы с вибрационным размытием. Рассматривается метод, в котором в качестве инварианта амплитуды вибрационного перемещения применяется вибрационное приращение радиуса круга, равновеликого каждому из исследуемых изображений: с вибрационным размытием и без такового. Приведено описание способа измерения этого инварианта косвенным путем: через предварительное измерение площади изображения тестового фрагмента круглой формы. Само измерение площади изображения тестового фрагмента круглой формы осуществляется путем простого подсчета элементарных ячеек, входящих в состав изображения. Приведена математическая формула, описывающая измерение площади изображения описанным в статье способом. Приведена также формула, по которой осуществляется вычисление радиуса круга, равновеликого изображению тестового фрагмента круглой формы по известной площади этого изображения. В статье приведено обоснование преимуществ описываемого метода измерения вибрационного приращения радиуса изображения тестового фрагмента круглой формы: как в плане повышения точности, так и в смысле расширения функциональных возможностей данного метода. В статье выведены математические формулы для вычисления погрешности измерения площади изображения тестового фрагмента круглой формы.

ПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модель погрешности определения параметров траектории при использовании системы регистрации на базе видеокамер общего назначения / Волотов Е.М., Волотова Т.А., Митрофанов И.В., Митрофанов Е.И. // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 1. С. 29-37. DOI: 10.21685/2307-4205-2023-1-4

2. Анализ размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Нуржанов Д.Х., Григорьев А.В., Трусов В.А., Баннов В.Я., Стрельцов Н.А. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2017. Т. 2. С. 14-16.

3. Вычисление выходных параметров системы измерения модуля и компонент вектора вибрационного перемещения исследуемой материальной точки объекта контроля / Григорьев А.В., Гришко А.К., Лапшин Э.В., Наумова И.Ю., Данилова Е.А., Юрков Н.К. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2016. Т. 2. С. 41-44.

4. Анализ отсчетных сегментов следа вибрационного размытия изображения круглой метки / Григорьев А.В., Кочегаров И.И., Бростилов С.А., Горячев Н.В., Андреев П.Г. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2016. Т. 2. С. 37-41.

5. Методика калибровки системы трехкомпонентного измерения параметров вибраций на основе анализа геометрии следа размытия изображения круглой метки / Григорьев А.В., Алмаметов В.Б., Долотин А.И., Царев А.Г., Беликов Г.Г., Гришко А.К. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2015. Т. 2. С. 16-19.

6. Особенности отображения вектора вибрационного перемещения материальной точки в плоскости изображения Каражанов Б.Б., Григорьев А.В., Данилова Е.А., Гришко А.К. Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2017. Т. 2. С. 16-20.

7. Якимов А.Н. Моделирование влияния производственных погрешностей на излучение микроволновых антенн // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 3. С. 74-82. DOI: 10.21685/2307-4205-2023-3-9

8. Григорьев А.В., Джевецкий А.Л., Юрков Н.К. Способ обнаружения и идентификации латентных технологических дефектов печатных плат // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2013. Т. 1. С. 15-19.

9. Григорьев А.В., Юрков Н.К., Кузнецов С.В. Обнаружение точечных изображений с положительным контрастом // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-2. С. 189-190.

10. Григорьев А.В., Волощенко А.А. Структурно-разностные профильные классы пикселей по двум направлениям // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2012. № 1. С. 159-162.

11. Григорьев А.В., Джевецкий А.Л. Критерий обнаружения объектных фрагментов штрихового изображения в полутоновом // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2011. Т. 2. С. 310-312.

12. Принцип негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений / Григорьев А.В., Джевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2014. Т. 2. С. 21-24.

13. Оконтуривание склона электронно-дифракционного рефлекса / Григорьев А.В., Граб И.Д., Паксяев Н.А., Трусов В.А., Баннов В.Я. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2008. Т. 1. С. 332-334.

14. ГОСТ 27459-87. Системы обработки информации. Машинная графика. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 1988. 10 с.

15. ГОСТ Р 50779.21-2004. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 47 с.

Tran Minh Hai 179

Абнер М.Д. 137
Абразумов В.В. 77, 81, 199
Абувалов Е.Ю. 352
Абукаримов А.К. 134
Аверкин Д.А. 45
Алатин С.Д. 43
Аминев Д.А. 84
Антипова А.С. 32
Ануар Г.А. 6, 9, 15, 24, 28, 63, 475
Артомонов Д.С. 24, 292
Асеев Е.А. 223
Аубакиров А.К. 188
Аюков Б.А. 472

Бадеев В.А. 157
Бадеева Е.А. 157
Бакенов О. 460, 464, 486
Бакытжан Н.Б. 6, 9, 15
Балыбердин А.Ю. 393
Балыбердин Ю.А. 325, 331
Баннов В.Я. 137, 143, 160, 447
Баранов В.А. 286
Бардик Э.Р. 91
Барсуков Н.И. 390
Батищева О.М. 117, 120
Безбородова О.Е. 412
Бейсембаева Б.С. 6, 28, 60, 235, 450
Бекниязов Н.А. 220
Белов А.М. 312
Бибарсов М.Р. 472
Бова Е.В. 360
Богородицкий А.В. 60
Бодин О.Н. 248, 412
Боков А.С. 165
Бояркин Д.С. 223
Бростилов С.А. 134, 140, 188, 338
Бростилова Д.А. 338
Бростилова Т.Ю. 134, 140
Буланова Т.Г. 143
Буренин К.Р. 286
Бычкова К.С. 15, 28, 60, 266

Вансович Е.Н. 297
Васильев К.А. 277
Васюнин Д.И. 447
Верховский М.В. 390
Вершинин А.Е. 338
Вершинин Е.А. 12, 143
Витушкин В.В. 230
Власов А.И. 91, 398
Волков Г.А. 331
Вьюговский А.А. 188, 443

Гавриков А.А. 272
Гарькаева М.П. 137
Гладун В.В. 32
Глухов С.А. 84
Годунов А.И. 209, 297, 301
Головяшкин А.Н. 150, 155, 160
Головяшкина Н.П. 433
Голушко Д.А. 223
Горелов А.А. 20
Григорьев А.В. 460, 464, 468, 486
Григорьев В.М. 28, 60, 63
Гришин М.В. 20
Гришко А.К. 212
Громов А.А. 297
Губич И.А. 477
Гуляков С.В. 205
Гусев А.В. 165
Гуськов В.О. 316

Даутбаев Е.Ш. 377
Дерябин Д.В. 455
Довыдова Е.А. 433
Доросинский А.Ю. 345, 352
Дудоров Е.А. 157
Дусангалиев Р.М. 263

Евич А.А. 32
Едемский М.В. 412
Ежижанский В.Д. 223
Елисеев Н.А. 238

Ергалиев Д.С. 263, 377
Еремцов Д.Д. 137
Ерофеев М.В. 209
Ерофеев С.А. 254

Жаркымбеков Б.С. 74
Жданов А.Г. 39

Завалишин О.И. 244
Зайцев С.А. 52
Закутин В.П. 36
Затучный Д.А. 171, 422
Заяра А.В. 283
Зелякова Т.И. 20
Зиновьев Д.Ю. 433
Зинченко Т.О. 309
Зорькин А.С. 338
Зубриянова Н.С. 433
Зуев В.Д. 143

Избасов А.Г. 227
Избасов А.С. 235
Ильин А.С. 320, 322, 480
Иофин А.А. 165
Исбасов А.Г. 220
Истлеуов Н. 74

Калиев А. 6, 9, 15
Камышов Г.А. 63, 266, 292
Караменгеров Т. 205
Каржин Д.И. 146
Карманов А.А. 477
Карпанин О.В. 286, 309
Киселев П.Д. 91
Кияшко В.В. 182
Клоков И.И. 193
Ключников А.В. 259
Коваленко А.В. 24, 28
Козлов А.И. 422
Козлов А.С. 174
Кокорев А.С. 103
Колесников А.В. 160
Кондрашин Н.А. 283
Корнилов А.В. 193
Кочеткова К.Д. 212
Краснов А.А. 427
Крохин И.А. 345
Крюков О.В. 201
Крячко А.Ф. 472
Кувырков А.В. 188, 338
Кузьмина Н.В. 404

Лавин А.В. 316
Логинов В.И. 182
Логинова Л.В. 24, 28, 292
Лукин В.Д. 390
Лупцов А.А. 47
Лысенко А.В. 223

Мазанов А.М. 212
Малышев С.А. 150
Мамыкин А.П. 447
Мартынов Д.В. 412
Маслов А.К. 171
Мельничук А.И. 235
Мироненко В.В. 199
Митрофанов И.Ю. 205
Михеев М.Ю. 345, 352, 427
Мишина К.Д. 412
Мосеев А.П. 188
Мурашкина Т.И. 157
Мурзина И.А. 387
Мухамбетов А.М. 220, 235
Мырзагалиев М. 70, 74

Нагашибаев Д.Ж. 165
Надеева К.Р. 263
Невокшанов В.Б. 6, 60, 63, 266
Нейчев В.Ф. 272
Нелюцков М.А. 309
Новиков А.И. 277
Новиков Н.Н. 199
Новикова В.Н. 39
Новомейский Д.Н. 47

Осипов Ф.М. 362, 366, 368, 370, 373, 380, 385
Ошкин А.А. 301

Павлюченко А.Н. 297
Папшев В.А. 117, 120
Перевертов В.П. 39
Першин Е.А. 309

Петриченко Д.Д. 398
Печерская Е.А. 309
Пиганов М.Н. 47
Плотников Д.В. 9, 60, 266
Подгорбунских В.М. 43, 45
Полтавский А.В. 227, 242
Полякова А.Ф. 193
Посысаев Е.И. 20
Пронин И.А. 477
Прохоров В.Ю. 32, 36, 77, 81, 362, 366
Пустовалов И.А. 3
Пызаров И.А. 70

Радаев О.А. 52
Раймбеков Ж.Е. 6, 9, 15, 292
Резчикова Е.В. 325, 331, 393
Рогулин М.Н. 155
Родимов Г.А. 123, 128
Романенко Ю.А. 117, 120, 220
Романов А.М. 290
Рубан С.О. 20
Русяева Е Ю. 227
Рыбаков И.М. 6, 9, 15, 24, 28, 60, 63, 266, 292
Рыжаков К.Р. 70, 74
Рыжов А.А. 39
Рябова С.В. 56
Рязяпов И.Н. 266

Савельев В.Н. 182
Сайфулин Д.А. 254
Самосейко В.Ф. 316
Сапрыкин Д.Р. 70, 74
Саушев А.В. 201, 312, 316, 360
Селиванов К.В. 91
Семкина К.А. 269
Сергеев В.А. 52, 56
Слизкой В.К. 165
Смирнов В.И. 272
Соловьев А.В. 283
Соловьев В.А. 160, 325, 404, 447
Степанников Н.В. 74
Супалдьяров А.Г. 6, 8, 60, 235
Суханкин Д.Ю. 160

Тамбовцев К.А. 352
Тен Е. 254
Терентьев А.Б. 301
Терентьев Д.С. 84, 103
Токарева О.В. 3, 77, 81, 199
Торчигин В.П. 174
Трофимов А.А. 248, 412
Трусов В.А. 322, 447
Тузова Д.Е. 309
Тырва В.О. 201

Фан К.Ф. 325
Фатхутдинов Т.М. 398
Федечкина Е.П. 306
Федосеев О.Н. 433
Филиппов И.А. 477
Филиппов Д.Ф. 301
Фролов И.В. 52, 56
Фролов С.В. 77, 81
Фролова А.И. 286

Целикин К.Д. 248
Цуприк А.Д. 220

Чакшов А.О. 460, 464, 486
Чан М.Х. 212
Череватенко П.С. 36
Чихрина У.С. 286

Шарашкин С.В. 360
Шарков В.В. 24, 63, 70, 74, 292
Шафеев К.А. 146
Шевандронов Н.А. 140
Широков Н.В. 312
Шишков С.В. 209
Шмалько Е.Ю. 238
Шолохов П.А. 137, 212
Шувалова А.А. 84

Юрков Н.К. 227, 242, 322

Якушова Н.Д. 477
Ямпурин Н.П. 182, 193
Ямшанов К.Л. 238

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

Токарева О.В., Пустовалов И.А. 3
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТИПОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ В «КОМПАС-3D» В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Бакытжан Н.Б., Раймбеков Ж.Е., Калиев А., Невокшанов В.Б., Ануар Г.А., Рыбаков И.М., Супалдьяров А.Г., Бейсембаева Б.С. 6
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ НА РАБОТУ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Бакытжан Н.Б., Раймбеков Ж.Е., Калиев А., Плотников Д.В., Ануар Г.А., Рыбаков И.М. 9
КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Вершинин Е.А 12
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ НА ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧАТНОГО УЗЛА

Бакытжан Н.Б., Раймбеков Ж.Е., Калиев А., Бычкова К.С., Ануар Г.А., Рыбаков И.М. 15
ОБЗОР И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ РЕАЛИЗАЦИИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Посысаев Е.И., Гришин М.В., Горелов А.А., Зелякова Т.И., Рубан С.О. 20
АНАЛИЗ НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОРПУСИРОВАНИЯ МИКРОСХЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Коваленко А.В., Логинова Л.В., Шарков В.В., Артомонов Д.С., Ануар Г.А., Рыбаков И.М. 24
КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ВЫБОРА СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА

Логинова Л.В., Бычкова К.С., Коваленко А.В., Григорьев В.М., Ануар Г.А., Рыбаков И.М., Супалдьяров А.Г., Бейсембаева Б.С. 28
СПОСОБЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ И ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Антипова А.С., Прохоров В.Ю., Гладун В.В., Евич А.А. 32
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ НА БАЗЕ АВТОМОБИЛЕЙ «УРАЛ» И «КАМАЗ»

Закутин В.П., Череватенко П.С., Прохоров В.Ю. 36
ТАКСАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ОЧИСТКЕ ПРОСЕК В МОСКОВСКОМ УЧЕБНО-ОПЫТНОМ ФИЛИАЛЕ ГКУ МО «МОСОБЛЛЕС»

Жданов А.Г., Перевертов В.П., Новикова В.Н., Рыжов А.А. 39
ЭФФЕКТИВНОЕ КРЕПЛЕНИЕ КОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПЛАТФОРМЕ

Алатин С.Д., Подгорбунских В.М. 43
ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ PET-ПЛАСТИКА В ФИЛАМЕНТ ДЛЯ ПЕЧАТИ 3D-ПРИНТЕРОМ

Аверкин Д.А., Подгорбунских В.М. 45
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПЕРЕРАБОТАННОГО PET-ПЛАСТИКА

Новомейский Д.Н., Пиганов М.Н., Лупцов А.А. 47
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

Радаев О.А., Фролов И.В., Зайцев С.А., Сергеев В.А. 52
ИЗМЕРЕНИЕ ПОРОГОВОГО ТОКА КРИСТАЛЛОВ СВЕТОДИОДНЫХ МАТРИЦ

Рябова С.В., Сергеев В.А., Фролов И.В. 56
СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ О ПАРАМЕТРАХ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Невокшанов В.Б., Плотников Д.В., Бычкова К.С., Богородицкий А.В., Григорьев В.М., Рыбаков И.М., Супалдьяров А.Г., Бейсембаева Б.С. 60
СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

Невокшанов В.Б., Шарков В.В., Камышов Г.А., Григорьев В.М., Ануар Г.А., Рыбаков И.М. 63
МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ, СТОЙКИХ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Пызаров И.А., Мырзагалиев М., Рыжаков К.Р., Шарков В.В., Сапрыкин Д.Р. 70
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ МАНУАЛЬНО-ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ НЕФРИТОВЫХ И ТУРМАЛИНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Степанников Н.В., Мырзагалиев М., Жаркымбеков Б.С., Истлеуов Н., Шарков В.В., Рыжаков К.Р., Сапрыкин Д.Р. 74
ВИДЫ МОНТАЖА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Абразумов В.В., Фролов С.В., Прохоров В.Ю., Токарева О.В. 77
ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЦЕМЕНТНОЙ ОСНОВЕ

Абразумов В.В., Фролов С.В., Токарева О.В., Прохоров В.Ю. 81
К ВОПРОСУ О СТОЙКОСТИ АЛМАЗНЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ ПРИ РЕЗАНИИ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Аминев Д.А., Шувалова А.А., Глухов С.А., Терентьев Д.С. 84
РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОЛНОВЫМИ ПОЛЯМИ НА ОСНОВЕ УСИЛИТЕЛЯ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ВЫХОДНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕНСОРНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ

Бардик Э.Р., Власов А.И., Киселев П.Д., Селиванов К.В. 91
ВИЗУАЛЬНОЕ СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Кокорев А.С., Терентьев Д.С. 103
АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ СЕНСОРНЫХ ЭКРАНОВ

Батищева О.М., Папшев В.А., Романенко Ю.А. 117
ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ

Папшев В.А., Батищева О.М., Романенко Ю.А. 120
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕТАЛЕЙ, СОЕДИНЯЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА И МОДЕЛИ ИХ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Родимов Г.А. 123
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Родимов Г.А. 128
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СБОРОЧНО-РАЗБОРОЧНЫХ РАБОТ

Бростилов С.А., Бростилова Т.Ю., Абукаримов А.К. 134
УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Шолохов П.А., Еремцов Д.Д., Абнер М.Д., Гарькаева М.П., Баннов В.Я. 137
СПОСОБЫ САМОУНИЧТОЖЕНИЯ УСТРОЙСТВ

Шевандронов Н.А., Бростилова Т.Ю., Бростилов С.А. 140
ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГИИ В ТРАНСПОРТЕ И ОБЪЕКТАХ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Вершинин Е.А., Буланова Т.Г., Зуев В.Д., Баннов В.Я. 143
СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОЛОЧНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЗИСТОРОВ

Каржин Д.И., Шафеев К.А. 146
ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Головяшкин А.Н., Малышев С.А. 150
РАСЧЁТ ТОПОЛОГИИ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ИНДУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Головяшкин А.Н., Рогулин М.Н. 155
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЛАВИННОГО ПРОБОЯ В КРЕМНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕГИРУЮЩЕЙ ПРИМЕСИ В БАЗЕ ДИОДНЫХ СТРУКТУР

Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Бадеев В.А., Дудоров Е.А. 157
КОНСТРУКТИВНЫЙ СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Баннов В.Я., Головяшкин А.Н., Соловьев В.А., Суханкин Д.Ю., Колесников А.В. 160
ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ МЭМС НА БАЗЕ СТРУКТУРЫ «КРЕМНИЙ НА ДИЭЛЕКТРИКЕ»

Боков А.С., Слизкой В.К., Гусев А.В., Иофин А.А., Нагашибаев Д.Ж. 165
ИМИТАЦИЯ РАДИОСИГНАЛОВ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЛОКАЦИИ И СВЯЗИ

ГЛАВА 6. НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

Затучный Д.А., Маслов А.К. 171
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Козлов А.С., Торчигин В.П. 174
АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОПТИКО-ИНДУЦИРУЕМЫХ СИЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАКОНОВ ЛОРЕНЦА

Tran Minh Hai 179
NEURO-FUZZY APPROACH TO THE PROBLEM OF IDENTIFICATION AND CORRECTION OF EXPERIMENTAL UAV MODELS RESISTANT TO MULTI-FACTOR UNCERTAINTY

Кияшко В.В., Логинов В.И., Савельев В.Н., Ямпурин Н.П. 182
УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПАССИВНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МОРЕ

Кувырков А.В., Бростилов С.А. Аубакиров А.К., Мосеев А.П., Вьюговский А.А. 188
АНАЛИЗ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ НА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Клоков И.И., Корнилов А.В., Полякова А.Ф., Ямпурин Н.П. 193
МЕТОДИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ В СООТВЕТСТВИИ С КТ-160G/14G

Мироненко В.В., Абразумов В.В., Токарева О.В., Новиков Н.Н. **199**
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Крюков О.В., Саушев А.В., Тырва В.О. **201**
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Гуляков С.В., Митрофанов И.Ю., Караменгеров Т. **205**
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

Годунов А.И., Ерофеев М.В., Шишков С.В. **209**
ГИБРИДНЫЕ РОБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СПЕЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Кочеткова К.Д., Гришко А.К., Шолохов П.А., Мазанов А.М., Чан М.Х. **212**
БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ КАК СРЕДСТВО СБОРА ИНФОРМАЦИИ В ГЕОДЕЗИИ

Цуприк А.Д., Бекниязов Н.А., Мухамбетов А.М., Исбасов А.Г., Романенко Ю.А. **220**
К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ НОВЫХ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Голушко Д.А., Ежижанский В.Д., Асеев Е.А., Бояркин Д.С., Лысенко А.В. **223**
АНАЛИЗ СПОСОБОВ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Полтавский А.В., Русяева Е Ю., Юрков Н.К., Избасов А.Г. **227**
КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ БЕСПИЛОТНОЙ ТЕХНИКИ

Витушкин В.В. **230**
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ВЫБОРА ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА В УСЛОВИЯХ ЗОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Избасов А.С., Мельничук А.И., Бейсембаева Б.С., Мухамбетов А.М., Супалдьяров А.Г. **235**
К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Елисеев Н.А., Ямшанов К.Л., Шмалько Е.Ю. **238**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ
ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ КОЛЁСНОГО РОБОТА

Полтавский А.В., Юрков Н.К. **242**
МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРОНОВ-КАМИКАДЗЕ

Завалишин О.И. **244**
РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ НА ЭТАПЕ ЗАХОДА НА ПОСАДКУ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Бодин О.Н., Трофимов А.А., Целикин К.Д. **248**
ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ В БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Ерофеев С.А., Сайфулин Д.А., Тен Е. **254**
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

ГЛАВА 7. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ, ИЗМЕРЕНИЙ И СЕРТИФИКАЦИИ

Ключников А.В. **259**
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОДНОПЛОСКОСТНОЙ БАЛАНСИРОВКИ
ДЛИННОМЕРНОГО ТЕЛА В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Надеева К.Р., Дусангалиев Р.М., Ергалиев Д.С. **263**
РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЁЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ

Невокшанов В.Б., Плотников Д.В., Бычкова К.С., Камышов Г.А., Рязяпов И.Н., Рыбаков И.М. **266**
ОЦЕНКА РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ
МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Семкина К.А. **269**
ВИХРЕТОКОВЫЕ ДАТЧИКИ. УСТРОЙСТВО, ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ,
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ВИДОВ ДАТЧИКОВ

Смирнов В.И., Гавриков А.А., Нейчев В.Ф. **272**
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МОНТАЖА КРИСТАЛЛОВ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В КОРПУС

Васильев К.А., Новиков А.И. **277**
РАЗМЫТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ КАК СПОСОБ МАСКИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ И ЗАДАЧА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Заяра А.В., Кондрашин Н.А., Соловьев А.В. **283**
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ArUco-МАРКЕРА

Фролова А.И., Баранов В.А., Карпанин О.В., Буренин К.Р., Чихрина У.С. **286**
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ АМБУЛАТОРНОГО МОНИТОРИНГА ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ

Романов А.М. 290
НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ

Раймбеков Ж.Е., Шарков В.В., Артомонов Д.С., Камышов Г.А., Логинова Л.В., Рыбаков И.М. 292
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ ПО GSM - КАНАЛУ

Павлюченко А.Н., Вансович Е.Н., Громов А.А., Годунов А.И. 297
АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ И НАПРЯЖЕНИЙ С ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ В ЗАДАЧЕ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ

Терентьев А.Б., Филиппов Д.Ф., Ошкин А.А., Годунов А.И. 301
РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ СТОЙКОСТИ ШТАТНЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ СОСТАВОВ

Федечкина Е.П. 306
АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К СОВРЕМЕННЫМ СИСТЕМАМ ОТОПЛЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Тузова Д.Е., Печерская Е.А., Карпанин О.В., Нелюцков М.А., Першин Е.А., Зинченко Т.О. 309
СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР И ПРИБОРОВ

Саушев А.В., Белов А.М., Бова Е.В., Широков Н.В. 312
К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СОСТОЯНИЕМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Гуськов В.О., Лавин А.В., Саушев А.В., Самосейко В.Ф. 316
УПРАВЛЕНИЕ МОМЕНТОМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ЗАДАННЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ

Ильин А.С. 320
ВЛИЯНИЕ КОМПОНОВКИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕРКИ КИЛОВОЛЬТМЕТРОВ

Ильин А.С., Юрков Н.К., Трусов В.А. 322
ВЫБОР ОБРАЗЦОВОГО МАСШТАБНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕРКИ КИЛОВОЛЬТМЕТРОВ

Балыбердин Ю.А., Резчикова Е.В., Соловьев В.А., Фан К.Ф. 325
МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТЕЙ

Балыбердин Ю.А., Волков Г.А., Резчикова Е.В. 331
СЕМАНТИЧЕСЕКИЙ АНАЛИЗ ТЕРМОМЕТРИИ

Кувырков А.В., Бростилов С.А., Бростилова Д.А., Зорькин А.С., Вершинин А.Е. 338
АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ И ВЫДАЧИ КЛЮЧЕЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Доросинский А.Ю., Михеев М.Ю, Крохин И.А. 345
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УВЕЛИЧЕНИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПЕРВИЧНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ УГЛА ПОВОРОТА

Михеев М.Ю., Доросинский А.Ю., Абувалов Е.Ю. Тамбовцев К.А. 352
ВИРТУАЛЬНЫЕ СИМУЛЯТОРЫ РАБОТЫ С ОБОРУДОВАНИЕМ КОРРОЗИОННОГО МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ UNITY

Бова Е.В., Саушев А.В., Шарашкин С.В. 360
ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ СУДОВ

ГЛАВА 8. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. 362
МЕТОДЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТЫ СО СТРЕССОМ И ДИСТРЕССОМ

Осипов Ф.М., Прохоров В.Ю. 366
СТРЕССОГЕННОСТЬ И ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ПОМОЩЬ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ФАКТОРОВ СТРЕССА

Осипов Ф.М. 368
ИСТОРИЯ ВЕГЕТОТЕРАПИИ: В. РАЙХ В РАБОТЕ СО СТРЕССОМ И ДИСТРЕССОМ

Осипов Ф.М. 370
СИМПТОМЫ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ВЫГОРАНИЯ

Осипов Ф.М. 373
СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ЦЕННОСТНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ

Даутбаев Е.Ш., Ергалиев Д.С. 377
ТЕХНИЧЕСКИЕ ИНСТРУКЦИИ ПО ПРОВЕРКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ГРАЖДАНСКОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА, ЗАРЕГИСТРИРОВАННОГО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ ГРАЖДАНСКИХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Осипов Ф.М. 380
ДУХОВНО-НРАВСТВЕННЫЕ ЦЕННОСТИ В СИСТЕМЕ СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНОГО ЗНАНИЯ

Осипов Ф.М. 385
ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОФИЛАКТИКА СТРЕССА В ОРГАНИЗАЦИИ И ИНДИВИДУАЛЬНАЯ

Мурзина И.А. **387**
ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА КАК ПРИОРИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ РФ

Лукин В.Д., Верховский М.В., Барсуков Н.И. **390**
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БРОКЕРОВ СООБЩЕНИЙ

Балыбердин А.Ю., Резчикова Е.В. **393**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ АКУСТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕХНОСФЕРЫ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМ

Власов А.И., Петриченко Д.Д., Фатхутдинов Т.М. **398**
АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДУКТА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ
ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ УДОВЛЕТВОРЁННОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ (МЕТОД КАНО)

Кузьмина Н.В., Соловьев В.А. **404**
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОДИНАМИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

Бодин О.Н., Безбородова О.Е., Едемский М.В., Мишина К.Д., Мартынов Д.В., Трофимов А.А. **412**
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ СЕРДЦА НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Козлов А.И., Затучный Д.А. **422**
КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЬДОВ ПРИРОДНЫХ ВОДОЁМОВ

Михеев М.Ю., Краснов А.А. **427**
ПЕРСОНИФИЦИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ СПОРТИВНЫХ ТРЕНИРОВОК. ПОДСИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ

Головяшкина Н.П., Зиновьев Д.Ю., Зубриянова Н.С., Довыдова Е.А., Федосеев О.Н. **433**
ИНФОРМИРОВАННОСТЬ МОЛОДЕЖИ ПО ВОПРОСАМ РЕПРОДУКТИВНОГО ЗДОРОВЬЯ КАК ФАКТОР ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ И НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

Вьюговский А.А **443**
ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ

Баннов В.Я., Мамыкин А.П., Соловьев В.А., Трусов В.А., Васюнин Д.И. **447**
КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЕЙ

Бейсембаева Б.С. **450**
МНОГОКАНАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Дерябин Д.В. **455**
ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОТРЕНИРОВКИ ВАКУУМНЫХ ИЗДЕЛИЙ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРА СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ

Григорьев А.В., Чакшов А.О., Бакенов О. **460**
КРИТЕРИЙ ВЫБОРА РАДИУСА ТЕСТОВОГО ФРАГМЕНТА КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Григорьев А.В., Чакшов А.О., Бакенов О. **464**
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВИБРАЦИЙ ПО ПРИРАЩЕНИЮ ПЛОЩАДИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ФРАГМЕНТА КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Григорьев А.В. **468**
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННОГО РАЗМЫТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФРАГМЕНТОВ КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Крячко А.Ф., Бибарсов М.Р, Аюков Б.А. **472**
АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ПРИ НЕИСПРАВНОСТЯХ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ

Ануар Г.А. **475**
МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДАВЛЕНИЯ

Филиппов И.А., Пронин И.А., Карманов А.А., Якушова Н.Д., Губич И.А. **477**
РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТА «ОКСИД ЦИНКА - УГЛЕРОД»

Ильин А.С. **480**
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОВЕРКИ КИЛОВОЛЬТМЕТРОВ

Григорьев А.В., Чакшов А.О., Бакенов О. **486**
ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПЛОЩАДИ ИЗОБРАЖЕНИЯ
ТЕСТОВОГО ФРАГМЕНТА КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Научное периодическое издание

ТРУДЫ
Международного симпозиума

НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО
Посвящается 300-летию Российской академии наук

Том 2

Все материалы представлены в авторской редакции

Корректор **Есавкина А.А.**

Компьютерный дизайн и верстка
В.А. Трусова

Подписано в печать 24.05.2024. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. л. 57,08.
Заказ № 220,1. Тираж 500.

Отпечатано с готового оригинал-макета.
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40, Издательство ПГУ
Тел.: (8412) 66-60-49; 66-67-77
e-mail: iic@pnzgu.ru