

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ПГУ)

ООО НПФ «КРУГ»

НОЦ «ИНЖЕНЕРИЯ БУДУЩЕГО»

СТУДЕНЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ОБЩЕСТВО ПГУ



МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ («ШЛЯНДИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2023»)

Материалы
XV Международной научно-технической конференции
с элементами научной школы и конкурсом
научно-исследовательских работ для студентов,
аспирантов и молодых ученых

г. Пенза, 2–3 ноября 2023 г.

Под редакцией доктора технических наук,
профессора Е. А. Печерской

Пенза
Издательство ПГУ
2023

М54 Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2023») : материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Пенза, 2–3 ноября 2023 г.) / под ред. д-ра техн. наук, проф. Е. А. Печерской. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2023. – 274 с.

ISBN 978-5-907752-54-2

Включены тезисы докладов Международной научно-технической конференции. Тематика докладов охватывает следующие направления научных исследований:

- общие вопросы информационно-измерительной техники;
- фундаментальные проблемы метрологии и метрологического обеспечения средств измерений;
- системы мониторинга и контроля технически сложных объектов;
- фундаментальные основы построения информационно-измерительных систем и комплексов;
- актуальные фундаментальные проблемы измерений и контроля параметров процессов нано- и микроэлектроники;
- фундаментальные основы методов и средств обработки измерительной информации, виртуальные измерительные приборы и системы;
- интеллектуальные информационные системы;
- новые материалы и технологии.

Издание подготовлено на кафедре «Информационно-измерительная техника и метрология» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» и предназначено для научных работников, сотрудников вузов, докторантов, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

УДК 621.317.083-088

Мероприятие проведено на основании приказа о научных мероприятиях университета на 2023 г. (№ 1125/о от 16.12.2022) и в соответствии с планом мероприятий проекта «СНО-акселератор: Быть в науке – значит быть первым!» (соглашение о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий от 15.06.2023 № 075-15-2023-546 на реализацию мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ).

*Приказ об организации и проведении XV Международной научно-технической конференции «Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации» («Шляндинские чтения – 2023») с элементами научной школы и конкурсом научно-исследовательских работ для обучающихся и молодых ученых
№ 933/о от 14.09.2023*

ISBN 978-5-907752-54-2

© Пензенский государственный университет, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

<i>Штепа В. Н., Кузьмич Р. К., Бобрикович А. В., Бобрикович Ю. В.</i> БЕЛОРУССКАЯ НОРМАТИВНАЯ БАЗА В КОНТЕКСТЕ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДООТВЕДЕНИЯ И СТРУКТУРЫ РАНЖИРУЮЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	10
<i>Захаров О. В., Сулейманова Ф. Д.</i> АЛГОРИТМ КОМПЕНСАЦИИ РАДИУСА ЩУПА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ШЕРОХОВАТОСТИ	13
<i>Ильин К. А., Баранов В. А.</i> СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АППАРАТА СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ	16
<i>Задера А. В., Антонов И. С., Юртаева Т. П., Леванова А. Д., Богородицкий А. В., Буланкина Д. П., Пастухов А. М., Цветков А. П.</i> ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА ПРОДОЛЬНЫХ МОД He-Ne ЛАЗЕРА, ВЫЯВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО РЕЗОНАТОРА-ИНТЕРФЕРОМЕТРА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ	18
<i>Антипенко В. В.</i> РЫНОК БИОИМПЕДАНСНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ – ВЛИЯНИЕ COVID-19 И ПРОГНОЗЫ НА БЛИЖАЙШИЕ ПЯТЬ ЛЕТ	22
<i>Абрамов А. Ю.</i> ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМИСТОРАМИ	25
<i>Рыскин Д. А.</i> ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	31
<i>Синельников Е. В.</i> БЕЗЫНЕРЦИОННЫЙ АМПЛИТУДНЫЙ ДЕТЕКТОР	34
<i>Рыблова Е. А.</i> РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ТЕНЗОДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМОГО В СОСТАВЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	38
<i>Рассыпнова Е. А., Шестаков И. А.</i> ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	41
<i>Рассыпнова Е. А., Шестаков И. А.</i> КОНЦЕПЦИЯ ЛІТ КАК МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ	44

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИИ

И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

<i>Рыбаков И. М., Ежижанский В. Д., Яркин А. Е., Асеев Е. А., Бычкова К. С.</i> ОЦЕНКА МЕТОДОВ И СТРУКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	47
---	----

<i>Рыбаков И. М., Ежижанский В. Д., Яркин А. Е., Бычкова К. С., Логинова Л. В.</i> МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ	51
<i>Керимов Р. А.</i> ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ	56
<i>Макленков Н. И.</i> ВЛИЯЮЩИЕ ВЕЛИЧИНЫ РАБОЧИХ УСЛОВИЙ	59
<i>Базаева Е. С., Берзинская М. В.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	61
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ	
<i>Мишина К. Д., Безбородова О. Е., Бодин О. Н.</i> МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА	63
<i>Прокопчук С. П., Кирюшкина Е. В., Цыпин Б. В.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ РАДИОСТАНЦИЙ	66
<i>Ивлиев С. Н., Егоркин О. В.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ СОСТОЯНИЯ ПУТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СООБЩЕНИЯ	69
<i>Калабкин А. А., Кузнецов Е. А., Ивлиев С. Н.</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДНОГО ФИТООБЛУЧАТЕЛЯ В ОБЛАСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ	71
<i>Фролова А. И., Баранов В. А.</i> АНАЛИЗ РИСКОВ ПРИ КАЛИБРОВКЕ УСТРОЙСТВ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЫХАНИЯ	74
<i>Мартынов Д. В., Безбородова О. Е., Бодин О. Н.</i> МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	76
<i>Новиков Д. В., Безбородова О. Е., Бодин О. Н.</i> МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	80
<i>Голобоков С. В., Бростилова Т. Ю., Тимченко П. А., Дудин А. В.</i> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АКВАМОДУЛЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СПИРУЛИНЫ	83
<i>Голобоков С. В., Медведева С. Н., Клейменов А. В., Безуглов В. К.</i> СИСТЕМА ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	85
<i>Бижанов Д. Е., Прыщак А. В., Батрашов В. М.</i> СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ШОВНЫХ ТРУБ ИЗ СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	88
<i>Александров В. С., Бычков А. С.</i> РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	91

Волков А. В., Абрамов М. В., Тертычный М. С. ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ	93
Волков А. В., Марченко А. В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕР ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА Т-КРИТЕРИЯ ВИЛКОКСОНА	96
Волков А. В., Марченко А. В., Заварцева Е. В. АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ОБЛАСТИ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	99
Волков А. В., Крылова С. Л., Марченко А. В. ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ	103
Волков А. В., Марченко А. В., Мизгачева Е. М. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ИХ БЕЗОПАСНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ	106
Волков А. В., Селяев Д. В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТРОЛЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ РАБОЧЕГО СОСТОЯНИЯ ТОКОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	109
Волков А. В., Мизгачева Е. М. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСКОНТАКТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ОТ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА РЖД	113
Волков А. В., Семяхина Е. Д. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПРОВЕРКИ СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	117

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ

Першин Е. А., Тузова Д. Е. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА ТИПА КТ345Б НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ УСИЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ	120
Ашанин В. Н., Ларкин С. Е. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА В КОД	125
Ашанин В. Н., Коротков А. А. ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ΣТ-АЦП С ЦИФРОВОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ОТ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ.....	127
Емельянов Н. С. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОЛЯРИЗАЦИЮ АКТИВНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ	130

<i>Тузова Д. Е., Печерская Е. А., Нелюцков М. А., Антипенко В. В., Карпанин О. В.</i> СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР И ПРИБОРОВ	132
---	-----

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ, ВИРТУАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

<i>Кревчик В. Д., Семенов М. Б., Рудин А. В., Семенов И. М., Шилкин И. А., Баркунов С. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ МЕТОДОМ ВЧ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	136
<i>Ионов Н. В., Резеда В. В., Резеда О. Н.</i> ПОСТРОЕНИЕ ВЕКТОРНЫХ ДИАГРАММ В СРЕДЕ MathCAD	139

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

<i>Хрящев В. В., Приоров А. Л., Котов Н. В.</i> КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОЛОНОСКОПИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ	143
<i>Юрченко С. А., Цыбульский Д. В.</i> ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НА РЫНКЕ	145
<i>Матвеев Д. В., Хрящев В. В., Лукашевич Ю. А.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА СПОРТИВНЫХ ВИДЕОДАННЫХ МЕТОДАМИ ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	149
<i>Назаровский А. Е., Хрящев В. В., Андержанова А. С., Волков Д. Б., Егоров В. Н.</i> РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ ЖИДКОЙ СТАЛИ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	151
<i>Агеев В. А., Автаев С. Н., Пяткин Д. В., Гусев И. Э.</i> АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	154
<i>Душутин К. А., Дудин А. В., Аль-Джумаили Омер Мувафак Абдулджаббар, Шумкин К. В., Душутин Т. Б.</i> ВЛИЯНИЕ УСТРОЙСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	157
<i>Приоров А. Л., Гурьянов Е. Д.</i> ЭНЕРГИЯ УЗЛА КАК МЕТРИКА БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ	160
<i>Ушакова А. М., Приоров А. Л., Набилков В. Д., Лаврентьев М. А., Куприянов Е. В.</i> РАСПОЗНАВАНИЕ МОДУЛИРОВАННЫХ РАДИОСИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	163

Маркелов С. О., Ашанин В. Н. О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОМЕЩЕНИЙ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА	165
--	-----

Печаткин К. В., Шибанов С. В. ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖУРНАЛА СОБЫТИЙ.....	168
---	-----

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Якушова Н. Д., Карманов А. А., Пронин И. А. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА СТРУКТУРУ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕДЬЮ	171
---	-----

Горешник Д. Д. К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИИ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	172
--	-----

Хорин А. В., Гуськов М. С., Вережкин Д. А., Захарова П. И. МЕТОДЫ РАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НОВОГО МНОГОСЛОЙНОГО КОРРОЗИОННО-СТОЙКОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ 12X18H10T-M1	175
---	-----

Вережкин Д. А., Гуськов М. С., Захарова П. И. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ КОРРОЗИИ	178
---	-----

Зинченко Т. О. АНАЛИЗ РЫНКА ПРОЗРАЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ОКСИДОВ	180
--	-----

Зинченко Т. О., Печерская Е. А. ОБЗОР МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ	183
--	-----

Трофимов А. А., Козлов В. В., Жуков Т. О., Максов А. А. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЕФОРМАЦИИ КОНТАКТНОГО ТИПА ДЛЯ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ	186
--	-----

Анисимова А. А. АКТУАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БИОНИЧЕСКОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА	188
--	-----

Журина А. Е., Емельянов Н. С., Печерская Е. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ С МДО-ПОКРЫТИЕМ В ИЗДЕЛИЯХ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ	192
---	-----

Крюков Д. Б., Кривенков А. О., Чугунов С. Н., Гуськов М. С., Миронов С. А., Акимов А. А. ГЕТЕРОГЕННЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	194
---	-----

Тугускин А. А., Тразанов Д. В. СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ И ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ	196
---	-----

Пальков А. С., Морозов М. М., Козлов В. В. ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЭПОХ НА КАЧЕСТВО ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПО РАСПОЗНАВАНИЮ РЕЧЕВЫХ КОМАНД	199
Оськин Е. А., Прыщак А. В., Гуськов М. С. ВЫСОКО-КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ И ИОНИЗИРУЮЩИХ СРЕД	203
Морозов М. М., Пальков А. С., Трофимов А. А. МЕТОД ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	205
Хорин А. В., Батрашов В. М., Веревкин Д. А., Захарова П. И. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НОВОГО МНОГОСЛОЙНОГО КОРРОЗИОННО-СТОЙКОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ 12Х18Н10Т-М1	207
Катыков М. В., Ашанин В. Н. РАЗРАБОТКА АВТОМОБИЛЬНОГО РЕГУЛИРУЕМОГО АМОРТИЗАТОРА С МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТЬЮ	210
Мошаров Е. А., Хорин А. В. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ	213
Максов А. А., Голубков П. Е. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ	215
Шкурина Е. Д. ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ФОТОТОКА ОТ ПРИЛОЖЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ОТ ОСВЕЩЕННОСТИ	218
Филиппов И. А., Пронин И. А. ЭЛЕКТРОФОРМИРОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННОГО МАТЕРИАЛА ZnO/ПОЛИСТИРОЛ ДЛЯ ГИБКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ	221
Филиппов И. А., Пронин И. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО СИНТЕЗА ОКСИДА ЦИНКА НА СТРУКТУРУ ГЕТЕРОГЕННОГО ВОЛОКНА ZnO/ПОЛИСТИРОЛ	223
Филиппов И. А., Пронин И. А. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ ГИБКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМИРОВАНИЯ ВОЛОКНА	225
Бояркин Д. С., Ежижанский В. Д., Асеев Е. А., Пызаров И. А., Лысенко А. В. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ RFID ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ УСТРОЙСТВ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ	227
Малашкина Е. О., Малашкин М. А., Мясникова М. Г. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАЧ ВЕДЕНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	233

Пономарев С. В. МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ	237
Алимурадов А. К., Тычков А. Ю., Чураков П. П. ОБЗОР И АНАЛИЗ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО РЕЧЕВЫМ СИГНАЛАМ	240
Сашина А. Д., Березина А. О., Майданов Н. А., Давыдов М. А., Алимурадов А. К. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ АЭРОПОННЫМ СПОСОБОМ	245
Кирюшкина Е. В., Прокопчук С. П., Кострикина И. А. РЕГИСТРАЦИЯ ПРЕТЕНЗИЙ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕТЕНЗИЯМИ И РЕКЛАМАЦИЯМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ	248
Хорева В. А. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОТОКА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ВАКУУМНОМ СОЛНЕЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ	251
Якушов Д. В., Печерская Е. А., Антипенко В. В. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬ ТОКОВОЙ ПЕТЛИ	253
Верхушин С. С., Мищенко В. И. ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ.....	257
Михайлов Е. А., Мищенко В. И. ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР МЕТОДОВ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	261
Казаченко А. А., Данилова Е. А. ОПИСАНИЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА MITSUBISHI FX3U-32MR/ES-A	264
Кочегаров И. И., Нелюцков М. А., Тузова Д. Е., Вершинин Е. А. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ АНАЛИЗАТОРОВ СПЕКТРА	268

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

БЕЛОРУССКАЯ НОРМАТИВНАЯ БАЗА В КОНТЕКСТЕ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДООТВЕДЕНИЯ И СТРУКТУРЫ РАНЖИРУЮЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

**Владимир Николаевич Штепа¹, Роман Константинович Кузьмич²,
Алексей Владимирович Бобрикович³, Юрий Владимирович Бобрикович⁴**

^{1,2}Полесский государственный университет, г. Пинск, Республика Беларусь

^{3,4}Столинский государственный аграрно-экономический колледж,
г. Столин, Республика Беларусь

Согласно прогнозов «Navigant Research», мировой рынок «умных» сетей водоснабжения и водоотведения ждет рост годового оборота с 1,1 млрд долларов США в 2013 году до более, чем 4 млрд. долларов США в 2024 году. Современные решения представляют собой переход водопроводно-канализационных хозяйств к принципу ведения деятельности, при котором организации будут опираться на обработку больших массивов данных, что позволит получить максимальную отдачу от высокотехнологичных устройств, информационных технологий и коммуникационных сетей. При этом «умные» измерительные приборы являются ключевым элементом «умных» сетей водоснабжения и водоотведения создавая приемлемую муниципальную экосреду.

Была сделана оценка существующей белорусской нормативной базы в области мониторинга экологической эффективности коммунальных систем, как юридической основы функционирования специализированных интеллектуальных информационных решений. Среди материалов выделено, как базовые, «Водный кодекс Республики Беларусь» (№ 149-З) и СН (строительные нормы) 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения».

Первый документ имеет строгие концептуальные обоснования и требования необходимости экологического, в том числе локального, мониторинга на разных этапах жизненных циклов систем водоотведения разноотраслевых объектов, включая очистные сооружения:

- *Статья 24.* Технологические нормативы водопользования состоят из:
 - технологических нормативов водопотребления, которые представляют собой обоснованное расчетами количество воды с учетом ее качества, необходимое для производственного процесса, устанавливаемое на единицу производимой продукции, используемого сырья, материалов;
 - технологических нормативов водоотведения, которые представляют собой обоснованное расчетами количество сточных вод установленного качества, образующихся в процессе производства, устанавливаемое на единицу производимой продукции, используемого сырья, материалов.
- *Статья 25.* При проектировании, возведении зданий, сооружений и других объектов, оказывающих воздействие на водные объекты, должны предусматриваться мероприятия, обеспечивающие:
 - рациональное (устойчивое) использование водных ресурсов;

- учет количества и контроль качества добываемых (изымаемых) вод и сбрасываемых сточных вод;
- охрану вод от загрязнения и засорения, а также предупреждение вредного воздействия на водные объекты;
- применение наилучших доступных технических методов;
- предотвращение чрезвычайных ситуаций.

– *Статья 47.* Сброс производственных сточных вод в окружающую среду, в том числе через систему канализации населенных пунктов, должен осуществляться с соблюдением условий приема таких сточных вод в систему канализации, устанавливаемых местными исполнительными и распорядительными органами в порядке, установленном Советом Министров Республики Беларусь. При невозможности обеспечить допустимую концентрацию загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты, концентрацию этих веществ подлежит снижать за счет устройства локальных очистных сооружений.

– *Статья 50.* Охрана вод обеспечивается путем: нормирования в области охраны и использования вод; установления водоохранных зон и прибрежных полос и режима осуществления в них хозяйственной и иной деятельности; создания и функционирования системы мониторинга поверхностных вод и мониторинга подземных вод, локального мониторинга;

– *Статья 56.* Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие сброс сточных вод непосредственно в поверхностные водные объекты либо через систему канализации населенных пунктов, за исключением случаев, предусмотренных законодательными актами, обязаны проводить локальный мониторинг, объектом наблюдения которого являются сточные воды и поверхностные воды.

В СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» выделено следующее:

– 10.1.6. Расчет сооружений для очистки производственных сточных вод и обработки их осадков следует выполнять на основании данных научно-исследовательских организаций, опыта эксплуатации объектов-аналогов с учетом требований настоящих строительных норм и действующих ТНПА.

– 10.1.13. При проектировании станции очистки сточных вод следует предусматривать:

- устройства для равномерного распределения сточных вод и осадка между отдельными сооружениями, а также для отключения сооружений, каналов и трубопроводов на ремонт без нарушения режима работы комплекса, для опорожнения и промывки сооружений и коммуникаций;

- устройства для измерения расходов сточных вод, осадка, воздуха, биогаза;
- оборудование для контроля качества поступающих и очищенных сточных вод;

- автоматизацию процессов, связанных с контролем очистки сточных вод.

Из зарубежных документов в указанной проблемной области, были выбраны:

- ISO 24525:2022 «Drinking water, wastewater and stormwater systems and services – Operation and maintenance of on-site domestic wastewater services»;

- ISO 24521:2016 «Activities relating to drinking water and wastewater services – Guidelines for the management of basic on-site domestic wastewater services»;

- ISO 9001:2015 «Quality management systems – Requirements».

Сравнение отечественной и зарубежной нормативных баз обосновывает следующие направления улучшения наших юридических материалов [1–3]:

– необходимость большей детализации использования информационных технологий при сборе, передаче, накоплении и обработке больших массивов данных, включая технологическую информацию;

– включение обязательных требований по внедрению в водопроводно-канализационные хозяйства аппаратно-программных систем оперативного и распределённого учёта и анализа показателей качества транспортируемых сточных вод, а не только выполнение таких задач на очистных сооружениях;

– формирование системных запросов касательно прогнозирования в режиме реального времени изменения значений загрязнителей сточных вод путём интеграции в существующие (проектируемые) специализированные автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) прогностических блоков.

Исходя из указанных оценок, целесообразно использовать методический аппарат ранжирующих измерительных систем (РИС) – класса измерительных систем (ИС), для которых результат измерения величины попадает в одну из категорий и число таких категорий конечно [3, 4]. Их алгоритм работы отличает их от классических ИС, которые выдают результаты в виде количественных переменных. Можно выделить два основных типа ранжирующих измерительных систем: в которых измерения проводит человек (контролер) при помощи своих органов чувств; и автоматические системы, где задачу ранжирования осуществляет электронный прибор (программируемый контроллер, датчики, фотоэлементы, электронные калибры другие измерительные средства) – они могут работать без участия человека-контролера. Автоматические РИС часто бывают встроены в технологический процесс, хотя их методика принятия решений использует числовые значения результатов измерений, тем не менее, выводы представлены в порядковой шкале – именно поэтому они попадают под определение ранжирующих решений. Вместе с тем в задачах экологического анализа водоотведения целесообразно внедрять комбинированные ранжирующие измерительные системы, поскольку количество комплексов получения информации о показателях качества сточных вод, способных работать в оперативном режиме (или приближённо к нему), крайне незначительно (нехватка инструментариев порядка 70 % от потребностей) – частично информацию, с учётом инерционности, обоснованно консольно вводить в базу данных РИС, например, на основе знаний экспертов и данных исследований аккредитованных лабораторий.

С целью устранения недостатков прототипов и улучшения экологической безопасности водоотведения предлагается следующая укрупнённая структура специализированных информационно-управляющих систем на базе РИС (рис. 1).

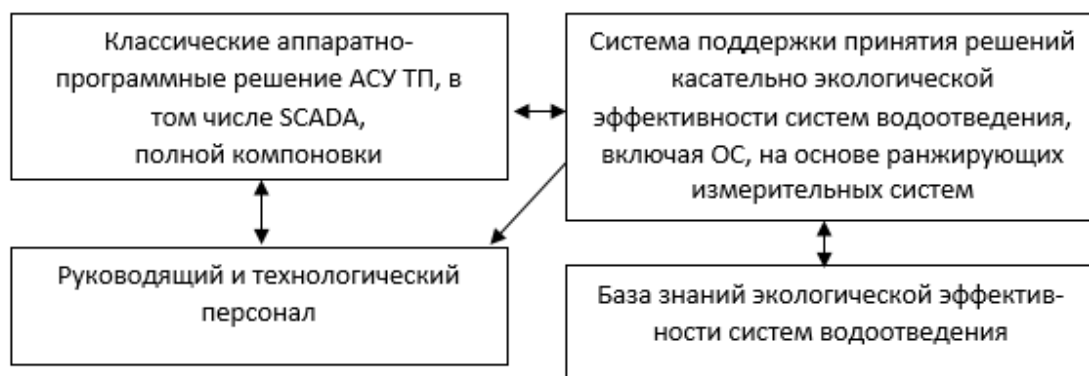


Рис. 1. Структура специализированных информационных систем экологического мониторинга водоотведения на базе РИС

Анализ динамики изменения показателей качества сточных вод пилотного объекта, водоотведения г. Барановичи (имеются значительные экологические риски для природных водных ресурсов), показал, что величины загрязнителей изменяются нелинейно, стохастично, нестационарно, в несоответствии с нормальным законом распределения, с большими (даже в несколько часов) продолжительными амплитудными выбросами (в некоторых случаях более 40 % от математического ожидания). Таким образом, для создания профильных моделей обосновано использовать математический аппарат искусственных нейронных сетей, который демонстрирует эффективность в указанных условиях [4].

Заключение. Отечественная нормативная база требует детализации использования современных телекоммуникационных решений и интеллектуальных измерительных средств. Внедрение ранжирующих измерительных систем при цифровизации водоотведения позволит более оперативно получать репрезентативную информацию (выводы, прогнозы) о состоянии транспортируемых и очищаемых водных ресурсов, что повысит эффективность управления экологической безопасностью окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штепа В. Н., Шикунец А. Б. Data Mining процессов очистки сточных вод с использованием нечётких нейронных сетей // Интеллектуальные информационные системы: теория и практика : сб. науч. ст. по материалам III Всерос. конф. (г. Курск, 22–23 ноября 2022 г.) / отв. ред. А. А. Халин. Курск : Курск. гос. ун-т, 2022. С. 210–216.
2. Штепа В. Н., Золотых Н. Ю. Интеллектуальная система анализа и прогноза экологической безопасности биологических сооружений очистки сточных вод // Первая выставка-форум IT-академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» : сб. докл. (г. Минск, 13–14 октября 2022 г.) / Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси. Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. С. 41–45.
3. Штепа В. Н., Шикунец А. Б., Ёрш Я. Ю. Использование виртуальной меры энергоэффективности водоочистки при цифровизации водопроводно-канализационного хозяйства // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шлядинские чтения – 2022») : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для обучающихся и молодых ученых (г. Пенза, 24–26 октября 2022 г.) / под ред. Е. А. Печерской. Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 182–186.
4. Штепа В. Н., Золотых Н. Ю., Киреев С. Ю. Обоснование и схемы использования ранжирующих измерительных систем экологического мониторинга и интеллектуального анализа режимов водоотведения // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. 2023. № 1. С. 94–103.

АЛГОРИТМ КОМПЕНСАЦИИ РАДИУСА ЩУПА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ШЕРОХОВАТОСТИ

Олег Владимирович Захаров¹, Фаина Денисовна Сулейманова²

^{1,2} Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина,
г. Саратов, Россия

Введение. Влияние радиуса щупа при измерении шероховатости описано в статьях [1, 2]. Было показано, что радиус щупа и его форма значимо влияют на параметры шероховатости, в первую очередь амплитудные. В процессе измерения щуп осуществляет механическую фильтрацию реальной поверхности.

Представлением реальной поверхности является модель кожи согласно ISO 21920-2. Механический профиль есть результат операции математической эрозии, полученной круглым диском, который огибает модель кожи. При этом используется терминология морфологических фильтров, изложенная в [3]. Первичный профиль поверхности получается после применения S-фильтра к механическому профилю. Профиль шероховатости R получается из первичного профиля поверхности последовательным применением F-оператора и L-фильтра. Параметры R вычисляются по профилю шероховатости.

Постановка задачи. Основными подходами к компенсации радиуса щупа могут стать методы морфологической фильтрации, используемые в метрологии поверхности, и методы построения эквидистанты, используемые на координатно-измерительной машине. В статье [4] показано, что морфологическая фильтрация может быть полезной для уменьшения некоторых ошибок измерения текстуры поверхности, в частности для гильзы цилиндров с платохонингованием в двух процессах. Другим подходом может стать многомасштабный морфологический фильтр. Основной областью его применения является обнаружение дефектов поверхности.

При измерении на координатно-измерительной машине щуп подводится по нормали к поверхности. На этом положении построены все основные методы, изложенные в статье [5]. Однако точную нормаль можно построить только для теоретической поверхности. Для реальной поверхности с погрешностями формы необходимо уточнение точки контакта используются на основе итерационных методов, что показано в статье [6].

Шероховатость не имеет нормалей. Поэтому щуп может коснуться реальной поверхности любой точкой на своей поверхности. Отсюда возникает задача определения точки касания и компенсации радиуса щупа. Таким образом, известные методы не могут быть использованы для построения механической поверхности шероховатости. Поэтому требуется разработать метод компенсации радиуса щупа, в большей степени отражающий механику взаимодействия и имеющий высокую производительность.

Математическая модель. Математическая модель построена на простых соотношениях аналитической геометрии. Расчетная схема дана на рис. 1. Исходной посылкой для расчета является тот факт, что круглый диск должен иметь минимум одну точку контакта с точками профиля. Диск перемещается вдоль профиля и последовательно контактирует с участками профиля, состоящими из отрезков прямых. Целесообразность кусочно-линейной интерполяции профиля при морфологической фильтрации показана в статье [4].

При компенсации радиуса r щупа путем смещения по оси y на величину r получается пересечение отрезков прямых и окружности. Чтобы окружность и прямая имели одну точку контакта с одной стороны необходимо построить касательную. В этом случае задача раскладывается на два варианта: $y_i > y_{i+1}$, $y_i < y_{i+1}$. В первом варианте будет скорректирована точка (x_{i+1}, y_{i+1}) , а во втором варианте – точка (x_i, y_i) . После коррекции эти точки будут иметь координаты (x_{i+1}, y_2) и (x_i, y_2) соответственно.

Вначале найдем координаты (x_1, y_1) точки, через которую проходит касательная к окружности. Для первого варианта получаем формулу:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{ry_i \sqrt{x_i^2 (x_i^2 + y_i^2 - r^2)} + rx_i^2}{(y_i^2 + x_i^2)x_i}; \\ y_1 &= -\sqrt{r^2 - x_1^2} \end{aligned} \right\}$$

Для того, чтобы сохранить равномерный шаг по оси x , продолжим касательную до координаты x_{i+1} . Соответствующая ей координата y_2 определится по формуле:

$$y_2 = y_i - x_i \frac{y_1 - y_i}{x_1 - x_i}.$$

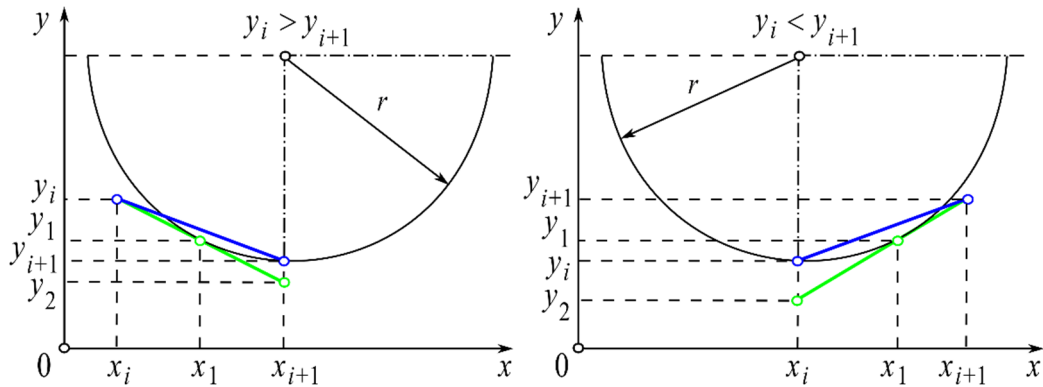


Рис. 1. Расчетная схема компенсации радиуса

Алгоритм компенсации радиуса щупа. Метод компенсации радиуса щупа на основе полученных формул реализован достаточно простым алгоритмом, показанным на рис. 2. Исходными данными являются координаты (x_i, y_i) точек профиля, где $i = 1, \dots, n$. Разработанный алгоритм включает только один цикл перебора исходных координат от 1 до $n-1$. В цикле используются логическая операция сравнения, арифметические операции сложения, вычитания, умножения и деления. В цикле имеются два условия для проверки: $y_i > y_{i+1}$, $y_i < y_{i+1}$. В зависимости от выполнения одного из этих условий корректируется точки с координатами x_i на x_{i+1} . Если ни одно из условий не выполняется, то координаты точек остаются без изменения. Выходными данными будет массив координат (X_i, Y_i) , имеющий такой же размер, как и исходные координаты (x_i, y_i) .

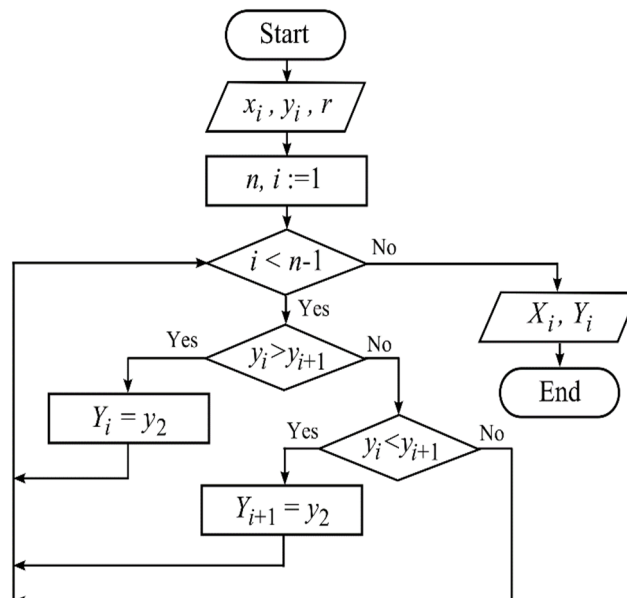


Рис. 2. Алгоритм компенсации радиуса

Таким образом, представлен простой алгоритм компенсации радиуса щупа при измерении шероховатости. Новый алгоритм построен на соотношениях аналитической геометрии. Реализующий алгоритм включает один цикл перебора исходных данных, логическую операцию сравнения, арифметические операции сложения, вычитания, умножения и деления. Алгоритм реализован в программе MATLAB и прошел тестирование на все возможные сочетания участков профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Radhakrishnan V. Effect of stylus radius on the roughness values measured with tracing stylus instruments // *Wear*. 1970. Vol. 16. P. 325–335.
2. Lou S., Brown S. B., Sun W., Zeng W. [et al.]. An investigation of the mechanical filtering effect of tactile CMM in the measurement of additively manufactured parts // *Measurement*. 2019. Vol. 144. P. 173–182.
3. Захаров О. В., Яковишин А. С., Сулейманова Ф. Д., Жуков А. В. Применение фильтров серии ISO 16610 для анализа структуры поверхности. Ч. 4. Профильные сплайн и вейвлет-фильтры // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2023. № 1. С. 43–58.
4. Захаров О. В., Лаптев А. Г., Лысенко В. Г., Милованова Е. А., Табачникова Н. А. Дискретный алгоритм на основе кусочно-линейной интерполяции для дискового морфологического фильтра // *Измерительная техника*. 2022. № 8. С. 35–40.
5. Печенин В. А., Болотов М. А., Рузанов Н. В., Янюкина М. В. Оптимизация параметров методик выполнения измерений геометрии деталей, имеющих сложные поверхности // *Измерительная техника*. 2015. № 3. С. 18–23.
6. Гречников Ф. В., Резчиков А. Ф., Захаров О. В. Итерационный метод коррекции радиуса сферического щупа мобильных координатно-измерительных машин при контроле поверхностей вращения // *Измерительная техника*. 2018. № 4. С. 21–24.

СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АППАРАТА СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ

Кирилл Алексеевич Ильин¹, Виктор Алексеевич Баранов²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Требуемое клиническими рекомендациями и другими нормативными документами качество сердечно-легочной реанимации (СЛР) при остановке сердца с использованием аппарата для автоматического непрямого массажа сердца достигается только при измерительном контроле состояния пациента по ряду разнородных параметров. Это определяет обязательность наличия в составе аппарата специализированной информационно-измерительной системы. Требования к метрологическим характеристикам системы определены на основе анализа характеристик существующих зарубежных аналогов [1].

Структурная схема информационно-измерительной системы, обеспечивающая выполнение установленных требований, разработана на основе структурной схемы информационно-измерительной системы для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19 и представлена на рис. 1 [2].

Информационно-измерительная система аппарата для непрямого массажа сердца в процессе СЛР имеет в своем составе следующие измерительные каналы:

– канал измерения частоты компрессий грудной клетки, длительности паузы между компрессиями, длительности фазы компрессии грудной клетки, длительности фазы релаксации грудной клетки;

- канал измерения давления на грудную клетку при компрессиях;
- канал измерения сатурации крови кислородом SpO_2 ;
- канал измерения частоты пульса;
- канал измерения параметров электрокардиосигнала;
- канал измерения парциального давления углекислого газа в выдыхаемом воздухе $ETCO_2$.

Обязательными компонентами аппарата также являются блок управления, блок памяти и блок связи с диспетчерской службой скорой помощи.

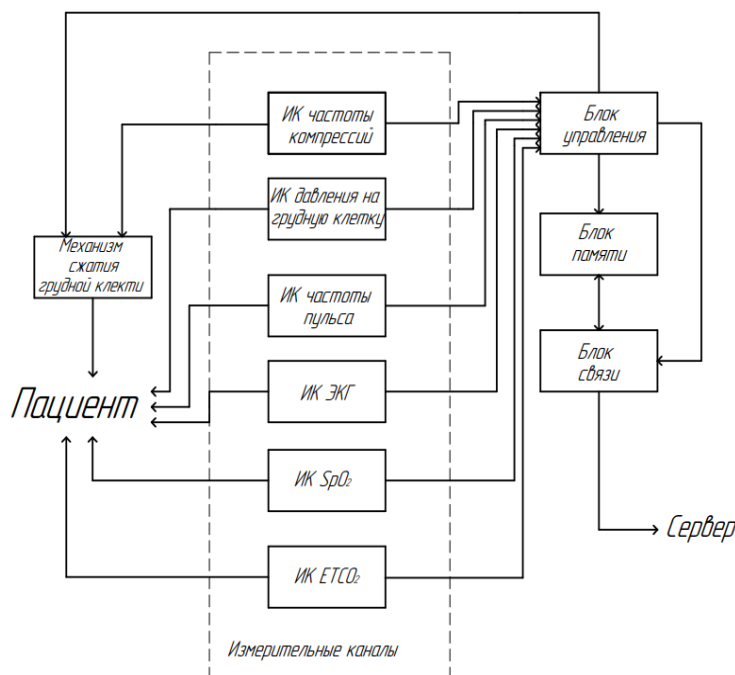


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительной системы аппарата для непрямого массажа сердца

Измерения всех величин, характеризующих состояние пациента в процессе СЛР, должны проводиться неинвазивными методами, поскольку реанимация зачастую проводится вне медицинского учреждения спасателем, который не является медицинским работником. В связи с этим каналы измерения давления на грудную клетку при компрессиях, сатурации крови кислородом, частоты пульса реализуют оптический метод измерения, а измерение глубины продавливания грудной клетки осуществляется фотометрическим методом измерения [3]. Объект измерения при этом рассматривается как объект с гетерогенной структурой, что определяет содержание методик измерения величин, описывающих состояние пациента [4].

Датчики измерительных каналов устанавливаются на пациенте перед началом непрямого массажа сердца. Главными требованиями к датчикам аппарата являются оперативность установки и безопасность для пациента.

Измерительная информация регистрируется в блоке памяти аппарата. Блок связи позволяет передавать накопленную информацию на серверы системы здравоохранения. Это открывает возможность формирования записи в базу данных о случаях СЛР и автоматического занесения данных в личную карточку пациента. Формирование личной карточки пациента в ходе СЛР позволяет незамедлительно сформировать необходимое лечение в постреанимационный период. На основе статистики по СЛР проводится оптимизация алгоритма проведения СЛР и сформиро-

вание базы данных пациентов, за которыми необходим постреанимационный уход [5].

Передача данных о состоянии пациента и параметрах работы аппарата диспетчеру службы скорой помощи в режиме онлайн помогает реаниматологу дистанционно оценить правильность работы аппарата и мероприятий по СЛР. При необходимости проводится коррекция режима работы аппарата и даются рекомендации спасателю.

Реализации аппарата для непрямого массажа сердца по предложенной структуре позволит существенно повысить качество сердечно-легочной реанимации за счет выполнения всех требований нормативных документов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин К. А., Баранов В. А. Измеряемые параметры сердечно-легочной реанимации при внегоспитальной остановке сердца // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2022»). Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 35–37.
2. Баранов В. А., Печерская Е. А., Сафронов М. И., Тимохин О. А. Информационно-измерительная система для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19 // Измерения, мониторинг, управление, контроль. 2021. № 1 (35). С. 85–92.
3. Баранов В. А. Информационно-управляющая система для активного контроля технологических процессов производства изделий с гетерогенной структурой // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 3 (37). С. 20–29.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023620849 Российская Федерация. Разработка цифрового тахометра бесконтактного способа измерения / Ильин К. А., Печерская Е. А. ; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет». № 2023620582 ; дата поступления 09.03.2023 ; в реестре баз данных 10.03.2023. С. 2–5.
5. Юсупова Б. М. Применение информационно-коммуникационных технологий в сфере здравоохранения // Региональные проблемы преобразования экономики. 2011. № 1 (27). С. 376–380.

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА ПРОДОЛЬНЫХ МОД He-Ne ЛАЗЕРА, ВЫЯВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО РЕЗОНАТОРА-ИНТЕРФЕРОМЕТРА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

**Александр Викторович Задера¹, Илья Сергеевич Антонов²,
Татьяна Петровна Юртаева³, Алина Дмитриевна Леванова⁴,
Артемий Владимирович Богородицкий⁵, Диана Павловна Буланкина⁶,
Александр Михайлович Пастухов⁷, Александр Павлович Цветков⁸**

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Финансирование: работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ 0748-2020-0012.

Лазеры со времени создания первых моделей находят все более широкое применение в науке, технике и повседневной жизни людей. Очень широкое распространение в настоящее время получили полупроводниковые лазеры на основе гетеропереходов, впервые созданные коллективом ученых под руководством академика Ж. И. Алферова. В лазерах на гетероструктурах пороговую плотность тока при комнатной температуре можно уменьшить на два порядка по сравнению с лазером

на обычном р–п-переходе, что позволило сделать непрерывно генерирующие в видимом диапазоне лазеры не требующие глубокого охлаждения [1]. Однако газовые лазеры такие как He-Ne лазер также находят свое применение благодаря высокому качеству генерируемого оптического излучения. Эти лазеры имеют свою специфику обусловленную в частности тем, что в качестве активной среды в лазерах данного типа используется газ (в He-Ne лазере – газ в атомарном состоянии). Плотность газа на порядки меньше плотности твердых тел. Это приводит к тому, что длина модового объема газового лазера значительно превышает размеры активного элемента твердотельного лазера. Так длина рубинового стержня в первом, созданном Мейманом, лазере составляла несколько сантиметров, а длина разрядной трубки He-Ne лазера Джавана (первого газового лазера) имела величину около 100 см [2]. Характерная длина, выпускаемых промышленностью He-Ne лазеров порядка 30 см, хотя встречаются модели с длиной активной среды лазера от 10 до 120 см. Если учесть, что эмиссионная (флюоресцентная) линия, соответствующая лазерному переходу, главным образом за счет эффекта Доплера, значительно уширена, то в резонаторе лазера, представляющем собой резонатор Фабри-Перо могут одновременно возбуждаться несколько продольных мод. Эти моды отстают друг от друга по частоте на $\Delta\nu = \frac{c}{2L} = 150 \text{ МГц}$, при длине резонатора $L = 100 \text{ см}$. При рабочей температуре

в лазере полуширина эмиссионной линии неона, соответствующей переходу $\lambda = 0,6328 \text{ мкм}$ составляет $\Delta\nu = 1700 \text{ МГц}$ [2], что приводит к одновременной генерации нескольких продольных мод. Для исследования модового состава излучения такого лазера требуются спектральные приборы достаточно высокого разрешения подобные хорошему интерферометру Фабри-Перо. В частности данную задачу можно решить, применяя резонатор-интерферометр бегущей волны [3]. Цель настоящей работы заключается в экспериментальном исследовании особенностей спектра продольных мод излучения He-Ne лазера.

Для исследования спектра продольных мод излучения He-Ne лазера был использован сканирующий резонатор-интерферометр бегущей волны, схематично представленный на рис. 1.

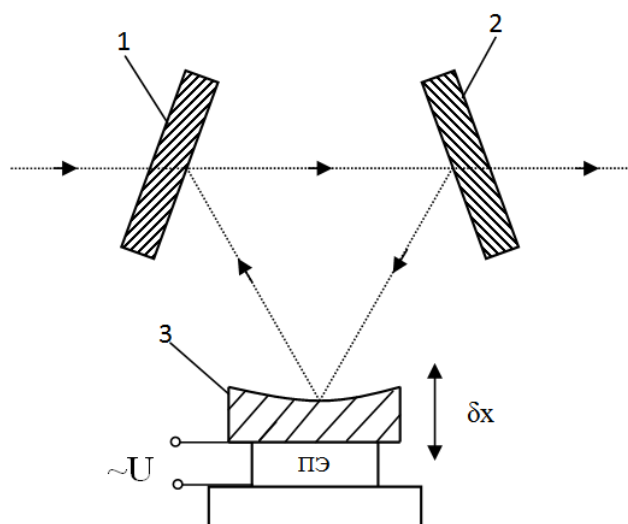


Рис. 1. Схема резонатора-интерферометра бегущей волны

Резонатор образован двумя плоскими полупрозрачными зеркалами 1 и 2 с многослойными диэлектрическими покрытиями от резонатора He-Ne лазера и одним глухим сферическим зеркалом 3 от такого же резонатора. Зеркала имеют

коэффициент отражения R_p около 98,5÷99 % (при нормальном падении, а при падении под углом, отличным от 90°, коэффициент отражения заметно меньше). Зеркала 1 и 2 конструктивно закреплены так, что имеют регулировку по углу. Это необходимо для точной юстировки резонатора. Сферическое зеркало закреплено на пьезоэлементе, что позволяет с помощью напряжения, подаваемого на пьезоэлемент, перемещать зеркало, превращая резонатор в сканирующий. Исследуемое лазерное излучение вводится в резонатор через полупрозрачное зеркало 1 и выводится через зеркало 2.

Ход лучей в отъюстированном резонаторе-интерферометре показан на рис. 2.

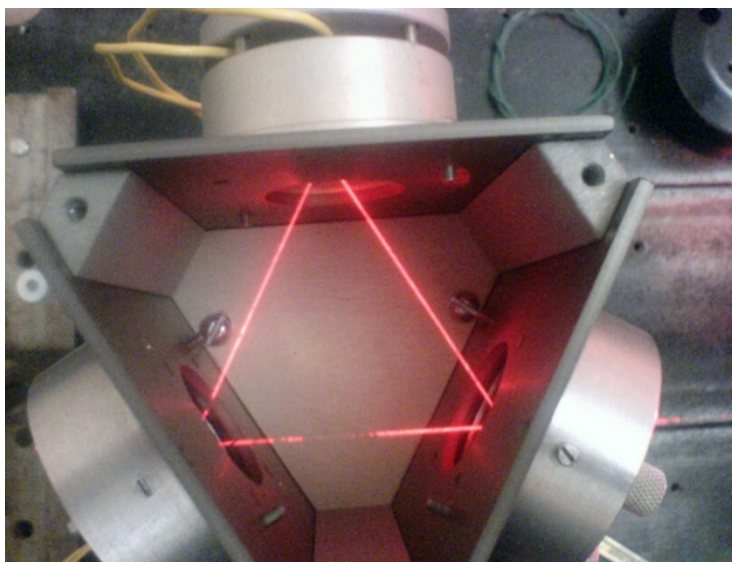


Рис. 2. Ход лучей в настроенном резонаторе-интерферометре

Резонансная частота интерферометра определяется длиной периметра светового луча, циркулирующего в резонаторе. В условиях резонанса на периметре должно укладываться целое число длин волн излучения. Изменение резонансной частоты сканирующего интерферометра связано с изменением длины периметра циркулирующего луча обусловленное смещением подвижного сферического зеркала. Показано, изменение резонансной частоты $\Delta\nu$ связано с изменением длины dl луча, циркулирующего в интерферометре соотношением $\Delta\nu = \frac{c}{\lambda_0 l_0} dl$, где c – скорость света в вакууме, λ_0 – длина волны излучения в вакууме, l_0 – длина периметра луча, циркулирующего в интерферометре. Приведенное соотношение позволяет определить, что при изменении длины периметра на величину $\Delta l = 0,1 \text{ мкм}$, сдвиг резонансной частоты интерферометра для длины периметра луча $l_0 = 0,2 \text{ м}$ составит порядка $\Delta\nu = 240 \text{ МГц}$.

Исследование спектра продольных мод излучения He-Ne лазера проводилось на специально созданной установке, устройство которой представлено на рис. 3.

Излучение He-Ne лазера направляется в сканирующий резонатор-интерферометр. Выходящее из интерферометра излучение регистрируется фотоэлектронным умножителем ФЭУ, сигнал с которого через измерительный блок поступает в персональный компьютер ПК. Перемещение зеркала осуществляется с помощью высоковольтного источника питания, управляемого компьютером с помощью специальной программы. Для контроля перемещения зеркала, подаваемое на пьезоэлемент

напряжение через делитель напряжения поступает на второй вход измерительного блока. Результаты измерений регистрируются компьютером и отображаются в виде графика на экране монитора. Зарегистрированный спектр представлен на рис. 4.

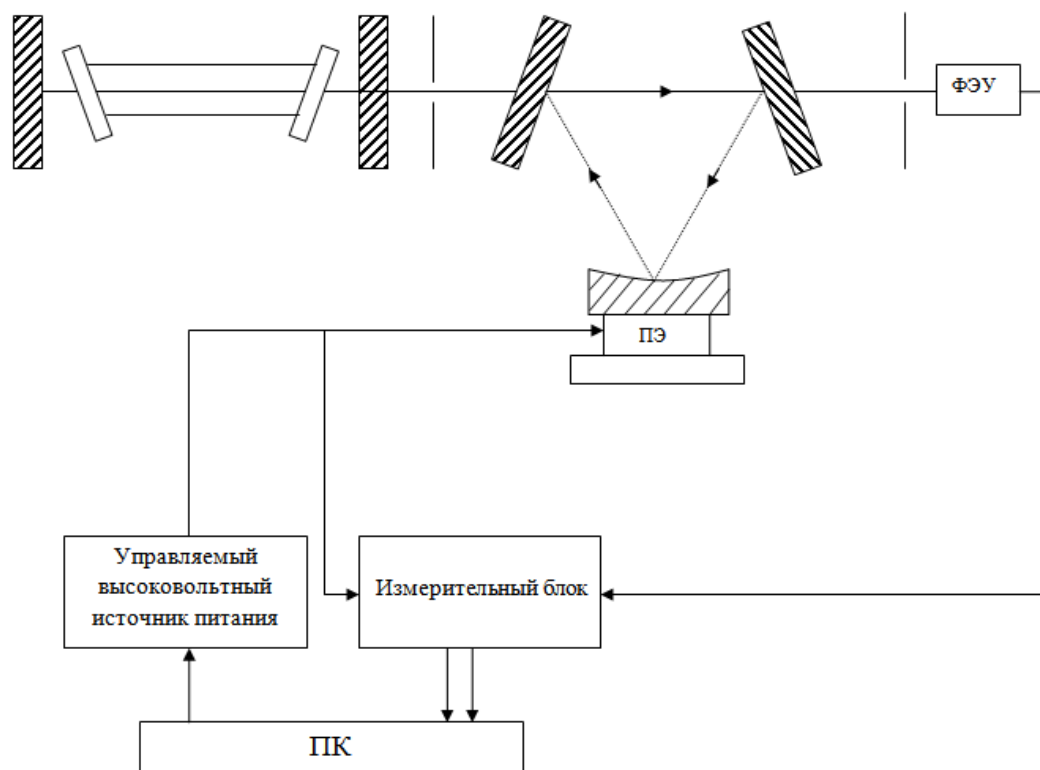


Рис. 3. Блок-схема экспериментальной установки

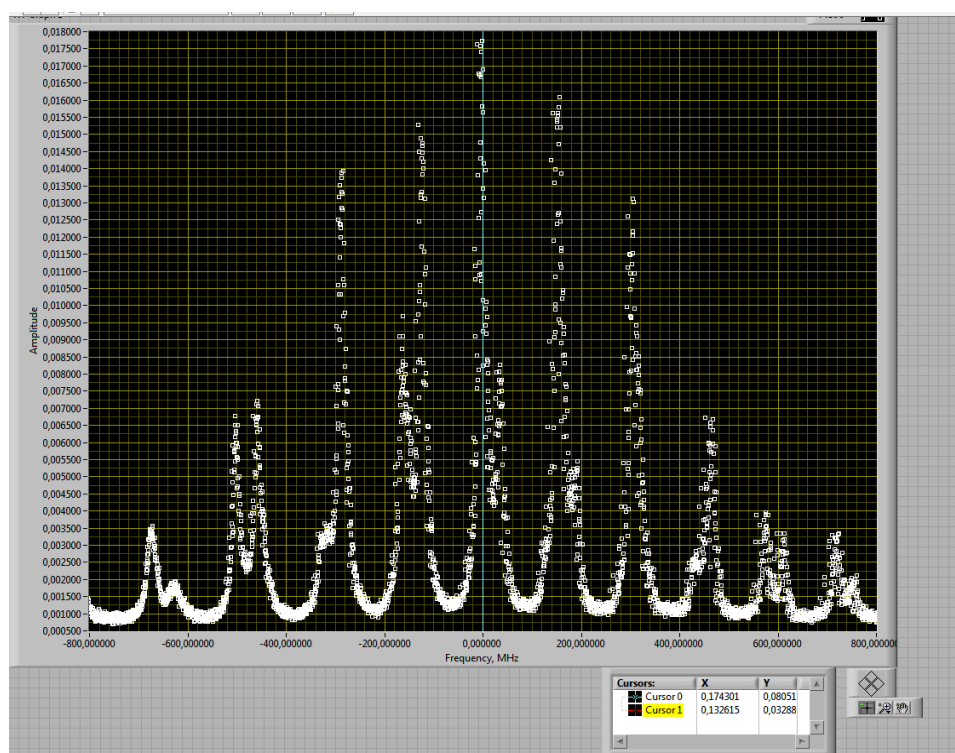


Рис. 4. Спектр излучения многомодового лазера ЛГ-75 при токе 12 мА

Таким образом анализ приведенного спектра позволяет определить межмодовый частотный интервал. Для He-Ne лазера ЛГ-75 измеренный интервал составляет 154 ± 20 МГц, что хорошо согласуется с теоретической оценкой. Огибающая полученного спектра дает представление о профиле эмиссионной линии, соответствующей лазерному переходу. В частности позволяет определить ширину интервала частот, в котором возможна генерация излучения лазера при использовании резонатора с данным уровнем потерь и данным значением разрядного тока активного элемента лазера. Для приведенного спектра этот интервал равен 1200–1500 МГц., что также согласуется с теоретической оценкой [2]/

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звелто О. Принципы лазеров : учеб. пособие / пер. под науч. ред. Т. А. Шмаонова. 4-е изд. СПб. : Лань, 2008. 720 с.
2. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров : пер. с польск. / пер. В. Д. Новикова ; под ред. и с предисл. М. Ф. Бухенского. М. : Мир, 1980. 540 с.
3. Зверев А. В., Степанов Н. С. Экспериментальная радиооптика. М. : Наука, 1979. 256 с.

РЫНОК БИОИМПЕДАНСНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ – ВЛИЯНИЕ COVID-19 И ПРОГНОЗЫ НА БЛИЖАЙШИЕ ПЯТЬ ЛЕТ

Владимир Викторович Антипенко

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение

Биоимпедансный анализ – это метод исследования, позволяющий определить состав тела человека, а именно: количество воды, жировой, мышечной и костной массы. Данный метод основан на измерении проводимости тканей организма.

Биоимпедансный анализатор представляет собой устройство, которое измеряет проводимость различных участков тела. Устройство пропускает через тело или участок ткани слабый электрический ток и измеряет проводимость. Затем полученные данные обрабатываются с помощью программного обеспечения, которое рассчитывает состав тела [1].

Рынок биоимпедансных анализаторов сегментирован по типу (одночастотный, двухчастотный, многочастотный), технологии (беспроводная, проводная), применению (сегментное измерение тела, измерение всего тела), конечному пользователю (медицинские центры, фитнес-центры и оздоровительные комплексы, академические учреждения) и исследовательские центры [2].

Применение биоимпедансного анализа позволяет оценить состояние здоровья человека, контролировать изменения в составе тела, вызванные диетой или физическими упражнениями. Также данный метод может использоваться для диагностики заболеваний, связанных с нарушением обмена веществ, таких как ожирение, сахарный диабет, заболевания почек и т.д.

Однако стоит отметить, что биоимпедансный анализ не является абсолютно точным методом исследования. Его результаты могут быть искажены некоторыми факторами, такими как возраст, пол, вес, общее состояние здоровья, прием лекарственных препаратов и т.п. Поэтому данный метод следует использовать в комплексе с другими методами исследования для получения более точной информации о состоянии здоровья [3, 4].

Обзор рынка биоимпедансных анализаторов

Биоимпедансный анализ состава тела становится все более распространенным во многих медицинских клиниках по уходу за пациентами и программам оздоровления по всему миру [5]. Пандемия COVID-19 оказала значительное влияние на рост рынка. В июле 2020 года на интернет-сайте «мед-архив» был опубликован исследовательский документ, в котором говорится, что ожирение может быть реальным фактором риска для COVID-19. Поэтому спрос на анализаторы биоимпеданса, вероятно, возрастет, так как риск заражения COVID-19 остается высоким для пациентов с лишним весом. Кроме того, из-за самоизоляции и режима работы на дому образ жизни людей стал еще более статичным. Кроме того, из-за изменения образа жизни и увеличения количества продуктов, доставляемых на дом, многие люди все больше потребляют нездоровую пищу.

Согласно ключевым фактам, опубликованным Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) в июне 2021 г., около 13 % взрослого населения мира страдали ожирением в 2016 г. Согласно отчету, опубликованному ВОЗ, ожирение называют глобальной эпидемией; при этом примерно 55–60 % взрослых, по прогнозам, будут страдать ожирением к 2030 году.

По данным исследований политики здравоохранения Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), в 2019 году более половины населения имело избыточный вес в 34 из 36 стран ОЭСР. По оценкам, почти каждый четвертый человек страдает ожирением. Более того, согласно анализу ОЭСР, избыточный вес и связанные с ним заболевания сократят ожидаемую продолжительность жизни примерно на три года в Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Европейском союзе-28 и Группе двадцати (G20) в период с 2020 по 2050 г. Эти факторы положительным образом влияют на спрос биоимпедансных анализаторов.

Ожидается, что рынок биоимпедансных анализаторов состава тела будет расти со среднегодовым темпом роста 8,8 % в период с 2022 по 2029 год. Ожидается, что к 2029 году он будет стоить более 1286,49 млн долларов США по сравнению с 712,86 млн долларов США в 2022 году [2, 6].

Основные тенденции развития рынка биоимпедансных анализаторов

На текущий момент сегмент многочастотного биоимпедансного анализа состава тела будет демонстрировать самый высокий рост в течение ближайших пяти лет, в отличие от одночастотного, так как второй не обеспечивает необходимой точности измерения.

Разрабатываемая автоматизированная система измерения биоимпеданса является относительно простой и использует быстрый метод для оценки состава тела. Автоматизированная система позволяет измерять физиологические параметры состава тела человека, являющиеся одними из самых распространенных показателей для оценки физического здоровья людей. Кроме того, данная автоматизированная система относительно дешева, портативна и не требует специальной подготовки для использования [7].

Входное воздействие создается на тело пациента в виде слабого электрического тока заданной частоты (0,3–2000 кГц) с помощью электродов. Воспринимается реакция на воздействие в виде разности потенциалов на определенном участке тела. Для выполнения расчетов используются следующие данные пациента: измеренные данные (активное и реактивное сопротивление) пол, рост, вес, возраст [8].

На основании измерений биоимпеданса и входных данных, определяется совокупность физиологических параметров организма. Как правило, ткани, содержащие большое количество жидкости и электролитов, обладают высокой проводимостью.

С другой стороны, кости и жир замедляют сигнал. Данные измерений, расчетов и условий эксперимента сохраняются в базе. Регистрируется и визуализируется динамика изменений показателей [9–11].

Одним из драйверов роста использования биоимпедансных анализаторов является государственная поддержка. Минздрав РФ представил проект стратегии здорового образа жизни (ЗОЖ) до 2025 года, которая призвана на 25 % сократить смертность россиян от сердечно-сосудистых заболеваний, которые в свою очередь связаны с ожирением.

Совершенствование аппаратных и программных средств биоимпедансных анализаторов в последние годы существенно повысило его возможности и расширило перечень как уже реализованных, так и перспективных применений.

Глобальный рост показателей ожирения, растущая осведомленность людей о здоровье и большое количество фитнес-центров – все это способствует развитию рынка биоимпедансных анализаторов.

Продажи биоимпедансных анализаторов состава тела могут быть затруднены из-за высокой стоимости и неточности воспроизводимости результатов. Существует более 100 видов измерителей основанных на биоимпедансном методе и их можно разделить на две группы: косвенные и прямые. Косвенная группа – устройства мониторинга бытового сегмента. В большинстве случаев это представляют собой носимые устройства умные часы, фитнес-трекеры или стационарные измерительные приборы - весы. Данная группа обладает низкой точностью измерения, информативностью и малым функционалом, соответственно тем самым дискредитируют технологию.

Рынок анализаторов биоимпеданса является высококонкурентным и состоит из ряда крупных организаций. Такие компании, как Tanita Corporation, Akern, Biodynamics Corporation, Bioparhom, Biotekna, Bodystat Ltd, Charder Electronic Co. Ltd, EVOLT 360, Fook Tin Group Holding Ltd, InBody Co. Ежегодно сотни малых инновационных предприятий в области мониторинга организма стараются выйти на рынок, однако значимые результаты не достигнуты. Основная проблема выхода устройства в рынок – это недоверие потребителей к новым технологиям. В текущий момент с ростом рынка персональных и обезличенных данных, рентабельность внедрения персональных устройств возрастает [2].

Заключение

В данной статье приведен обзор рынка биоимпедансных анализаторов и влияние COVID-19. Выявлены основные тенденции роста рынка биоимпедансных анализаторов. Определенными факторами, способствующими росту рынка в ближайшие 5 лет, являются растущие правительственные инициативы по пропаганде здорового образа жизни и новые технологические достижения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anamika P., Mukesh R. Bioimpedance analysis of vascular tissue and fluid flow in human and plant body: A review // Biosystems engineering. 2020. Vol. 197. P. 170–178.
2. Анализ размера рынка и доли биоимпедансных анализаторов – тенденции роста и прогнозы (2023–2028 гг.). URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/bioimpedance-analyzers-market>
3. Buendía R., Bogóñez-Franco P., Nescolarde L., Seoane F. Influence of electrode mismatch on Cole parameter estimation from total right side electrical bioimpedance spectroscopy measurements // Medical Engineering & Physics. 2012. Vol. 34 (7).
4. Qin E. S., Mindy M. J., Chen W. F. Diagnostic accuracy of bioimpedance spectroscopy in patients with lymphedema: A retrospective cohort analysis // Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery. 2018. Vol. 71. P. 1041–1050.

5. Freeborn T. J., Crircher S. Artifacts in Localized Multi-Frequency Bioimpedance Measurements // IFAC PapersOnLine. 2021. Vol. 54–15. P. 55–60.
6. Dutra D., Bertemes-Filho P. Extracting parasite effects of electrical bioimpedance measurements // J. Electr. Bioimp. 2018. Vol. 9. P. 115–122.
7. Антипенко В. В., Печерская Е. А., Левин А. И. [и др.]. Исследование взаимодействия электродов с тканью при биоимпедансной диагностике // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 2 (40). С. 114–119.
8. Antipenko V. V., Pecherskaya E. A., Zinchenko T. O., Artamonov D. V., Spitsina K. Yu., Pecherskiy A. V. Development of an automated bioimpedance analyzer for monitoring the clinical condition and diagnosis of human body diseases // J. Phys. Conf. Ser. 2020. Vol. 1515 (5).
9. Antipenko V. V., Pecherskaya E. A., Zinchenko T. O., Melnikov O. A., Fimin A. V., Zaryvahina S. A. Analysis of methodological errors in measuring a digital automated bio-impedance meter // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. Vol. 1695. P. 012051.
10. Печерская Е. А., Антипенко В. В., Карпанин О. В. [и др.]. Метрологические аспекты автоматизированного метода измерения биоимпеданса // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2020. № 3 (33). С. 78–84.
11. Воробьева Е. Ю., Крайнова К. Ю., Печерская Е. А., Бибарсова А. М. Факторы, влияющие на точность биоимпедансного анализа // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. VI Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. / под ред. Л. Р. Фионовой. Пенза, 2019. С. 178–179.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМИСТОРАМИ

Андрей Юрьевич Абрамов

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение

Температурные измерения с использованием термисторов, которые используются для изучения тепловых процессов в охлаждающих устройствах, имеют большое значение. Особенно актуальна проблема измерения температуры в тепловых трубах среднего диапазона. При разработке новых тепловых труб проводится сравнение и выбор различных конструктивных вариантов, основанный на определении теплопередающих характеристик труб. Однако, точность измерения температуры является решающим фактором в этом процессе. В связи с этим, была проведена калибровка термистора СТЗ-19 в интервале от 0 до 200 °С путем сравнения его показаний с образцовым платиновым термометром сопротивления [1; 2].

Проведение измерений. Калибровка термисторов проводится в ИТ СО РАН в Новосибирске уже несколько лет. Измерения проводились в стационарном режиме с использованием изотермических оболочек [6; 7], с пошаговым повышением температуры на 10 °С от 0 °С до 200 °С. Температура повышалась ступенчато на 10°С от 0 °С до 200 °С. Один непрерывный цикл повышения температуры и измерения длился до 48 часов. Всего был проведен 21 цикл измерений.

Исследование термистора включало калибровку с использованием точного измерения сопротивления термистора R_c помощью потенциометра. Измерение проводилось в стационарном состоянии при заданной температуре T , которая была определена с использованием платинового термометра сопротивления ПТС-10. Измерения проводились при помощи компаратора напряжений Р3003 класса точности 0,0005 и образцовой катушки сопротивления Р 321 класса точности 0,01, которая

была размещена в пассивном термостате. Для подачи тока использовался набор батарей "Бакен", который был помещен в заземленный металлический кожух.

Было проведено более 500 экспериментальных измерений, в результате которых был сформирован большой массив данных по температуре T и логарифму сопротивления термистора $\ln R_c$. Максимальная случайная погрешность измерения температуры с использованием термометра ПТС-10 составляла $(2 \div 3) \cdot 10^{-3}$ К, а сопротивления термистора – $5 \cdot 10^{-4}$ Ом.

Результаты измерений температуры на термометре сопротивления ПТС-10, включая калибровку, были получены при использовании измерительного тока величиной 1 ма ($1 \cdot 10^{-3}$ А). При таких условиях выделяемая тепловая мощность составляет $W_{ПТС} = (10 \div 17) \cdot 10^{-6}$ Вт.

Далее на рис. 1 показаны данные одного цикла измерений сопротивления термистора R_c в зависимости от температуры. Чтобы облегчить дальнейший анализ, график был представлен в виде функции обратной температуры $10^4/T$, 1/К, от $\ln R_c$. Эта зависимость в основном линейна, но наблюдаются отклонения в области повышенных температур $T \sim 473$ К, где $\ln R_c \sim 4 \div 5$, и в области пониженных температур $T \sim 273$ К, где $\ln R_c \sim 9 \div 10$. Также возможно существование точки перегиба при средних температурах в интервале значений $\ln R_c \sim 6 \div 8$.

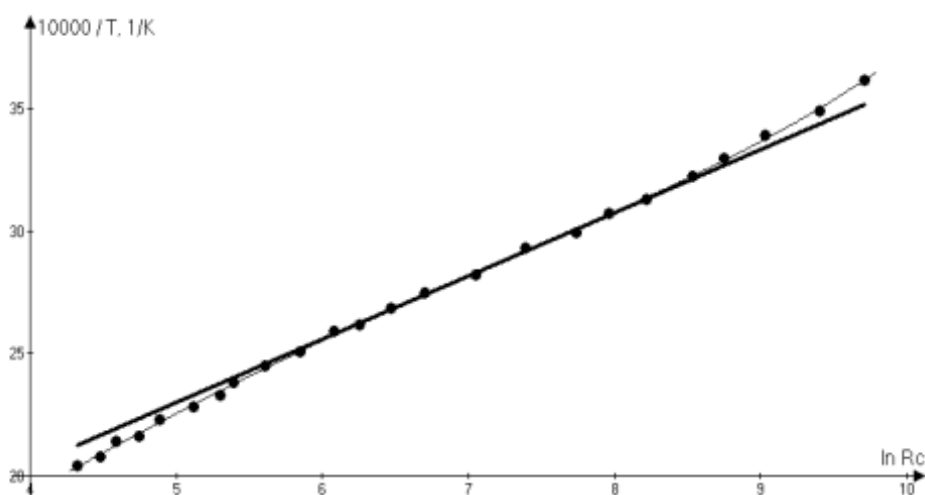


Рис. 1. Экспериментальная зависимость логарифма сопротивления термистора СТЗ-19 от обратной температуры $10^4/T$, 1/К. Прямая линия – расчет по уравнению (6); график кривой – расчет по уравнению (9)

В рамках рассмотрения датчика температуры как системы с сосредоточенными параметрами, уравнение термистора может быть записано следующим образом [1; 2]:

$$T_c + \tau_c \cdot \dot{T}_c = \frac{W_c}{K_c} + T_0; \quad \tau_c = \frac{C_c}{K_c}, \quad (1)$$

где T_c – температура термистора, К; $\dot{T}_c$ – производная по времени температуры термистора при динамическом режиме измерений, τ_c – характерное время запаздывания термистора, с; W_c – выделяемая на термисторе электрическая мощность, Вт; K_c – коэффициент теплопередачи между термистором и медным блоком, Вт/К; T_0 – измеряемая термометром ПТС-10 температура медного блока или, например, тепловой трубы τ – время, с; C_c – теплоемкость термистора, Дж/К. Решением уравнения (1) является выражение (2) [8], в котором в момент времени $\tau = \tau^*$ температура термистора считается известной и равной T_c^* .

$$T_c(\tau) = T_c^* \cdot \exp\left(-\frac{\tau - \tau^*}{\tau_c}\right) + \left(\frac{W_c}{K_c} + T_0\right) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau - \tau^*}{\tau_c}\right)\right] \quad (2)$$

Электрическая мощность W_c , выделяемая на термисторе измерительным током, при всех калибровочных испытаниях постоянна и равна $20 \cdot 10^{-6} \text{ W}$, и перегрев термистора ΔT_c вычисляют по формуле:

$$\Delta T_c = \frac{W_c}{K_c} = \tau_c \cdot \frac{W_c}{C_c}. \quad (3)$$

С помощью специальных опытов были исследованы процессы нагрева и остывания термистора при температурах 2–195 °С. Для этого был использован ступенчатый режим изменения электрической мощности W_c , которая выделялась в термистор и термометр. Для измерений релаксационных характеристик была использована измерительная система жидкостного калориметра, представленная в [6; 7]. Результаты исследований времени запаздывания термистора τ_c , рассчитанные с использованием стандартной процедуры метода наименьших квадратов (МНК) [9–12], приведены на рис. 2.

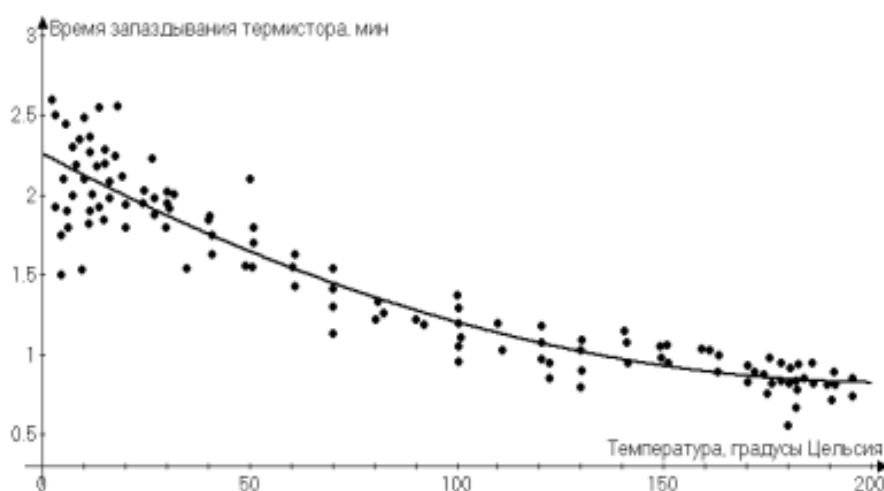


Рис. 2. Экспериментально определенные времена τ_c запаздывания термистора СТ3-19

Аппроксимирующая кривая на рис. 2 задана полиномиальным выражением:

$$\tau_c(t) = 3,3963027 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1,39779 \cdot 10^{-2} \cdot t + 2,261388, \text{ мин}, \quad (4)$$

где t – температура в градусах Цельсия, среднеквадратичное отклонение экспериментальных точек $\sigma \sim 0,18$ мин.

Теплоемкость термистора $C_c \sim (0,3 \div 0,35)$ Дж/К, коэффициент теплопередачи $K_c \sim (2 \div 5) \cdot 10^{-3}$ W/К, величина перегрева измерительным током не превышает $\Delta T_c \sim (10 \div 4) \cdot 10^{-3}$ К и учитывается при всех измерениях.

Температурный градиент между медным блоком и окружающей его изотермической оболочкой (термостатом) не превышал 0,05–0,1 К. Величина изменения температуры при проведении калибровки была на уровне 10^{-7} K/s. Следовательно, в течение этого времени температурное состояние датчиков температуры внутри медного блока считалось квазистационарным.

Обработка результатов. Функциональная зависимость электрического сопротивления оксидного полупроводникового термистора R_C от температуры T достаточно сложна, и в первом приближении ее представляют в виде сопротивления идеального полупроводника со строго одинаковым количеством дырок и носителей заряда, в экспоненциальном виде

После логарифмирования (5) получают

$$\frac{1}{T} = -\frac{1}{B} \cdot \ln A + \frac{1}{B} \cdot \ln R_C, \quad (6) \quad R_C = A \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right), \quad (5)$$

Для уточнения вопроса о перегибе, была вычислена производная $d(1/T)/d(\ln R_C)$, при этом анализировался весь массив экспериментальных точек. Значения производной $d(1/T)/d(\ln R_C)$, рассчитанные по результатам одного цикла измерений сопротивления термистора в зависимости от $\ln R_C$, приведены на рис. 3.

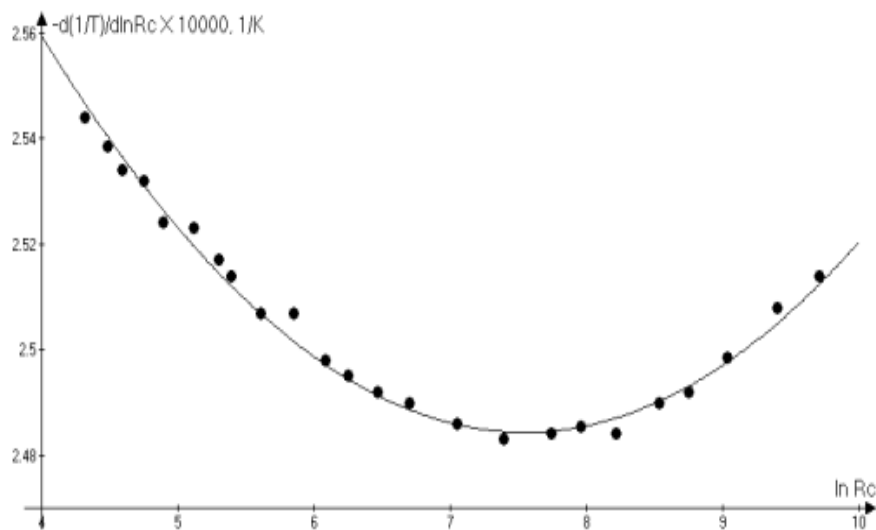


Рис. 3. Расчетная зависимость производной $-d(1/T)/d(\ln R_C) \cdot 10^4, 1/K$, в зависимости от логарифма сопротивления $\ln R_C$ термистора СТ3-19

По результатам численного дифференцирования [13] всего массива экспериментальных точек, минимум кривой определен нами при значении $\min \ln R_C = 7,63 \pm 0,01$, что соответствует температуре точки перегиба (inflection point) $T_{inf} = 336,34$ К или $63,19$ °С. Разлагая производную $d(1/T)/d(\ln R_C)$ в ряд в окрестности точки минимума, было получено выражение

$$\begin{aligned} \frac{d(1/T)}{d \ln R_C} = & a_1 + a_2 \cdot (\ln R_C - 7,63)^2 + \\ & + a_3 \cdot (\ln R_C - 7,63)^3 + \dots \end{aligned} \quad (7)$$

После интегрирования разложение (7) приводят к следующему виду

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} = & A_0(\tau_d) + A_1(\tau_d) \cdot (\ln R_C - 7,63) + A_2(\tau_d) \times \\ & \times (\ln R_C - 7,63)^2 + A_3(\tau_d) \cdot (\ln R_C - 7,63)^3, \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, калибровка термистора СТ3-19 по существу, состоит в определении численного значения коэффициентов полинома (8) $A_i(\tau_d)$ и учета их дрейфа во времени. Основная особенность расчета по уравнению (8) заключается в привязке температуры к точке перегиба T_{inf} функциональной зависимости логарифма сопротивления термистора.

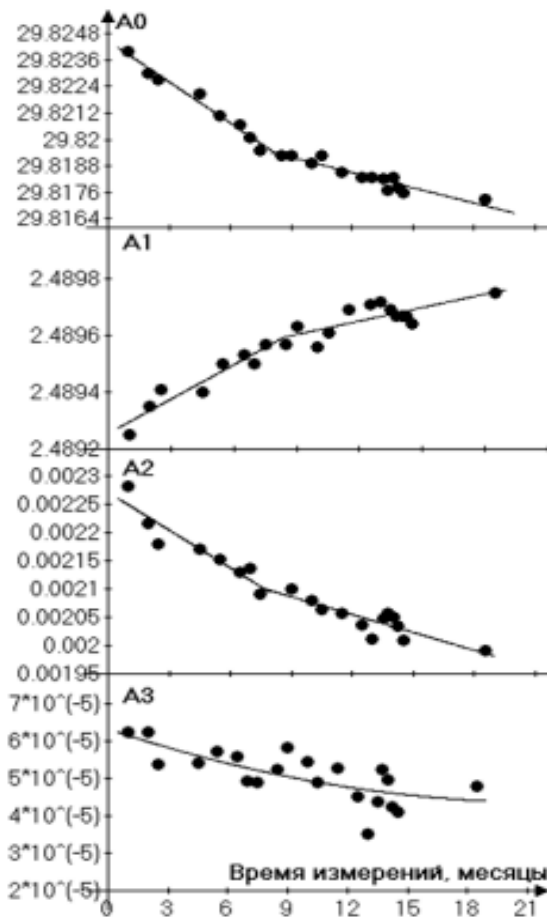


Рис. 4. Динамика изменений коэффициентов A_i во времени при нагревах до 200 °С – левые части графиков, до 190 °С – правые части графиков

Таким образом, рекомендуемое уравнение для расчета температуры термистором СТЗ-19, учитывающее как точку перегиба (inflection point) $T_{inf} = 336,34$ К функциональной зависимости логарифма $\ln R_C$ сопротивления термистора, так и временной дрейф полиномиальных коэффициентов разложения $A_i(\tau_d)$ при периодических нагревах термистора до 190 °С, выглядит следующим образом:

$$\frac{1}{T} = A_0(\tau_d) + A_1(\tau_d) \cdot (\ln R_C - 7,63_2) + A_2(\tau_d) \cdot (\ln R_C - 7,63_2)^3 + A_3(\tau_d) \cdot (\ln R_C - 7,63_2)^4. \quad (9)$$

Обсуждение результатов. Известно полиномиальное уравнение третьей степени J. S. Steinhart, S. R. Hart [14], предназначенное для расчета температуры термистором и содержащее линейный и кубический по логарифму сопротивления $\ln R_C$ члены

$$\frac{1}{T_{SH}} = A + B \cdot \ln R_C + C \cdot \ln R_C^3. \quad (10)$$

Диапазон применения по температуре данного уравнения с одним набором коэффициентов не превышает 50 ÷ 75 К [14; 15]. Используя опубликованные в современных интернет-изданиях [15] наборы численных значений коэффициентов уравнения Steinhart'a и Hart'a, было проведено сопоставление результатов расчета температуры по уравнению Steinhart'a и Hart'a и по нашему уравнению четвертой степени логарифмов сопротивления термистора (9).

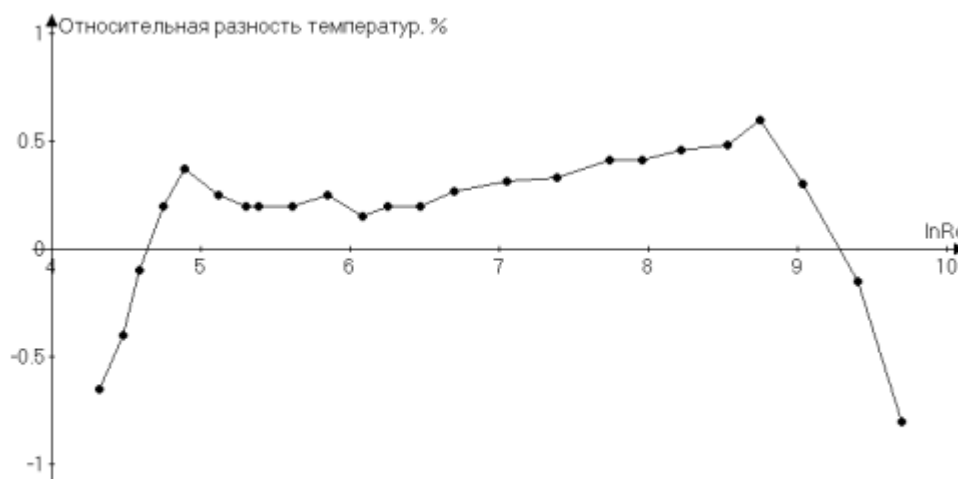


Рис. 5. Относительные разности температур δ , вычисленные по уравнению Steinhart'a и Hart'a, и по уравнению четвертой степени относительно точки перегиба характеристик термистора (9)

Применение полиномиального уравнения четвертой степени (9) с привязкой температуры к точке перегиба функциональной зависимости логарифма сопротивления термистора, позволяет расширить диапазон и повысить точность определения температуры.

Применение полиномиального уравнения третьей степени Steinhart'a и Hart'a увеличивает погрешности расчета температуры термистором на краях интервала 273 К ÷ 473 К до 1,5÷2 К.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Линеверг Ф. Измерение температур в технике. Справочник. М. : Металлургия, 1980.
2. Кондратьев Г. М. Тепловые измерения. М. : Машгиз, 1957.
3. Мэклин Э. Д. Терморезисторы. М. : Радио и связь, 1983.
4. Гендин Г. С. Все о резисторах : справ. изд. М. : Горячая Линия–Телеком, 2000.
5. Шефтель И. Т. Терморезисторы. М. : Наука, 1973.
6. Серяков А. В. Автоматизированный калориметр постоянного объема для исследования растворов электролитов // Теплофизические свойства растворов, расплавов и композиций : сб. науч. тр. / Институт теплофизики СО РАН. Новосибирск, 1991. С. 139–153.
7. Груздев В. А., Серяков А. В. Жидкостный калориметр // Теплофизические свойства веществ : тр. 8-й Всесоюз. конф. Новосибирск, 1989. Ч. 1. С. 256–261.
8. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М. : Наука, 1976.
9. Демидович Б. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики. М. : Наука, 1966.
10. Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченкова Н. В. Вычислительные методы для инженеров. М. : Высш. шк., 1994.
11. Хемминг Р. В. Численные методы. М. : Наука, 1968.
12. Дэвенпорт Дж., Сирэ И., Турнье Э. Компьютерная алгебра: Системы и алгоритмы алгебраических вычислений. М. : Мир, 1991.
13. Мудров А. Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль. Томск : Раско, 1991.
14. Steinhart J. S., Hart S. R. Calibration curves for thermistors // Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts. 1968. Vol. 15, № 4. P. 497–503.
15. Cornerstone Sensors. A, B, C Coefficients for Steinhart-Hart Equation. Temperature Sensors for Health, Science and Industry. California, 2010. 2 p.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Дмитрий Алексеевич Рыскин

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Детекторы ядерных излучений – это приборы для регистрации альфа- и бета-частиц, рентгеновского и гамма-излучения, нейтронов, протонов и т.п. Служат для определения состава излучения и измерения его интенсивности, измерения спектра энергий частиц, изучения процессов взаимодействия быстрых частиц с атомными ядрами и процессов распада нестабильных частиц. В основе регистрации лежат процессы взаимодействия излучений с веществом.

Полупроводниковые детекторы ионизирующих излучений (ППД) используются для гамма- и рентгеновской спектрометрии, а также как счетчики числа частиц.

Полупроводниковые детекторы ядерных излучений работают аналогично ионизационной камере, но ионизация происходит в толще кристалла, а не в газовой среде. Это позволяет уменьшить размеры приборов при сохранении их эффективности. Малый размер по сравнению с газовыми камерами и сцинтилляторами – основное преимущество ППД.

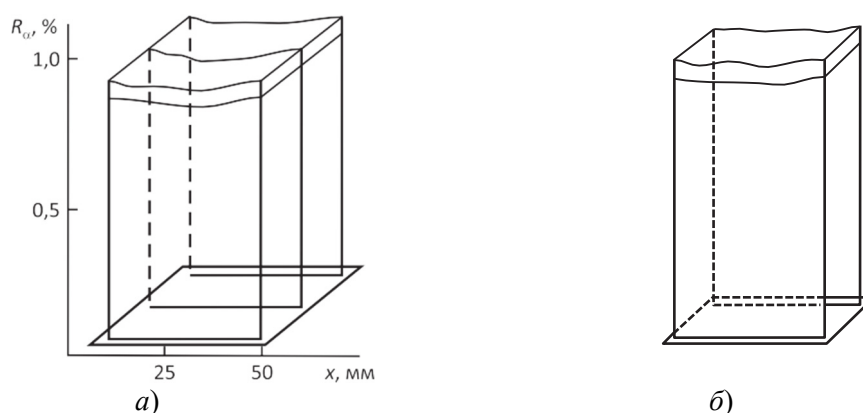
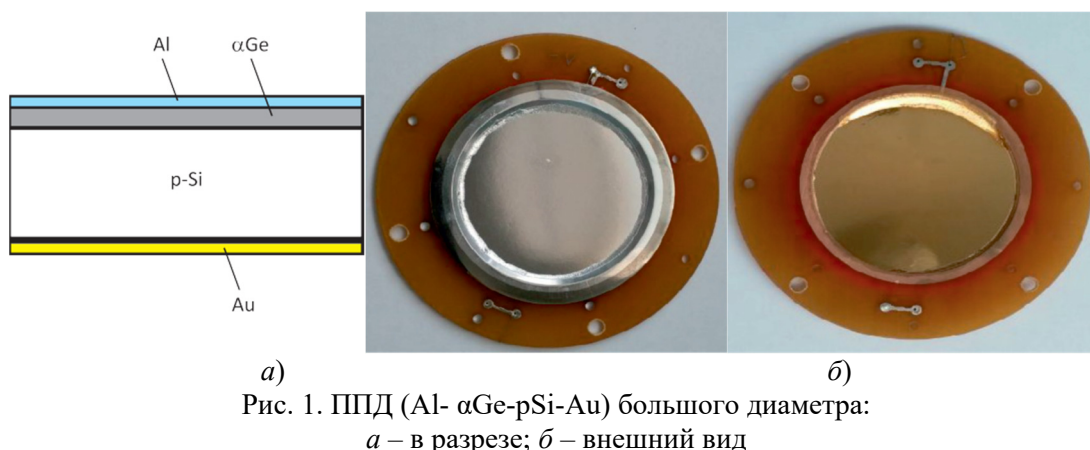
Первичные датчики (детекторы) могут быть построены с использованием различных физических принципов регистрации поглощенной дозы гамма-нейтронного излучения: ионизационного, химического, радиофотолюминесцентного, термолюминесцентного, полупроводникового и т.д. Все перечисленные принципы построения первичных детекторов имеют свои достоинства и недостатки, отраженные в различных публикациях.

Развитие физики твердого тела и технологий микроэлектроники привело к появлению и широкому применению полупроводниковых детекторов ионизирующих излучений. Полупроводниковые детекторы отличаются высокой чувствительностью к излучению, возможностью регистрации одного вида излучения на фоне другого, высоким энергетическим и временным разрешением, малыми габаритами и массой, высокой механической прочностью, низким напряжением питания и малой потребляемой мощностью. К достоинствам полупроводниковых детекторов можно отнести высокотехнологичность и, следовательно, относительно малую стоимость при массовом производстве.

Для измерения таких заряженных частиц требуется детектор со значительной, большой чувствительной областью и тонким «мертвым» слоем входного и выходного окна, а также с высокими электрофизическими, радиометрическими характеристиками в широком диапазоне напряжений внешнего обратного смещения электрического поля на структуре. В данном случае рассмотрены технологии изготовления и комплексы исследований электрофизических и радиометрических характеристик полупроводникового детектора (ППД) на основе гетероструктуры Al- α Ge-pSi-Au толщиной чувствительной области $W = 0,15\text{--}0,5$ мм, диаметром чувствительной области 40–110 мм, на основе высокоомного p-Si ($6\text{--}8$ кОм · см, 1000 мкс), вырезанные в виде шайб толщина ~ 700 мкм. На рис. 1 показана конструкция и внешний вид детектора. Полупроводниковый детектор (ППД) на основе гетероструктуры Al- α Ge-pSi-Au изготовлен по кремниевой поверхностно-барьерной технологии.

Для получения гетероперехода на поверхности p-Si, методом вакуумного напыления при давлении $3 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. наносятся контакты на основе аморфного α Ge (300 Å) и Al (300 Å). На обратную, тыловую сторону наносится слой Au

($\sim 200 \text{ \AA}$) – который является контактом. Затем готовые детекторные структуры помещаются в корпуса (рис. 1).



На данный момент исследованы формы амплитудных спектров α -частиц ^{226}Ra в различных участках чувствительной области детектора и топография скорости счета на участках по площади входного и выходного окна детекторов. Сканирование α -частицами ^{226}Ra с энергией $E_\alpha = 7,65 \text{ МэВ}$ проводятся через латунную маску размером $20,5 \text{ мм}$. На рис. 2 представлены топограммы энергетического разрешения α -частиц ^{226}Ra ($E_\alpha = 7,65 \text{ МэВ}$) по площади чувствительной области входного (рис. 2а) и выходного (рис. 2б) окна детектора. Энергетическое разрешение по всем участкам сканирования составляло $R_\alpha = 856 \text{ кэВ}$ для линии $R_\alpha = 7,65 \text{ МэВ}$. Исследования показывают, что форма и спектр энергетического разрешения не отличаются существенно по площади входного и выходного окна детекторов. Величина энергетического разрешения определяются, в основном, емкостными шумами.

Электрофизические и радиометрические характеристики, изготовленных детекторов, находятся в пределах $U_{\text{раб}} = 15\text{--}100 \text{ В}$, $I_{\text{обр}} = 10\text{--}7\text{--}10\text{--}6 \text{ мкА}$, $C = 1000\text{--}2500 \text{ пФ}$, $E_{\text{ш}} = 48\text{--}75 \text{ кэВ}$, энергетическое разрешение по ^{226}Ra $R_\alpha = 85\text{--}100 \text{ кэВ}$ ($E_\alpha = 7,65 \text{ МэВ}$) (см. рис. 2, 3), толщина входного окна $\Delta E_{\text{вх}} = 10 \pm 5 \text{ кэВ}$, выходного $\Delta E_{\text{вых}} = 20 \pm 5 \text{ кэВ}$ соответственно. В изготовленных детекторах измеряются электрофизические и радиометрические характеристики, и эти характеристики сравниваются с соответствующими характеристиками поверхностно-барьерных детекторов (ПБД) аналогичной геометрии, изготовленных из n-типа кремния, $\rho \sim 3\text{--}8 \text{ кОм} \cdot \text{см}$ [2].

Преимуществом детекторов изготовленных из p-Si является малое рабочее напряжение $U \sim 30$

представлена обратная ветвь вольтамперной и вольтфарадной характеристик гетер-200 В и относительно малые потери энергии во «входном» и «выходном» окнах ($\Delta E_{\text{вх}} \sim 8\text{--}15$ кэВ, $\Delta E_{\text{вых}} \sim 20\text{--}25$ кэВ).

На рис. 4 оструктур Al- α Ge-pSi-Au большого диаметра ($=100$ мм). Как видно из рис. 4, ток и емкость насыщения в них линейна с небольшим уклоном.

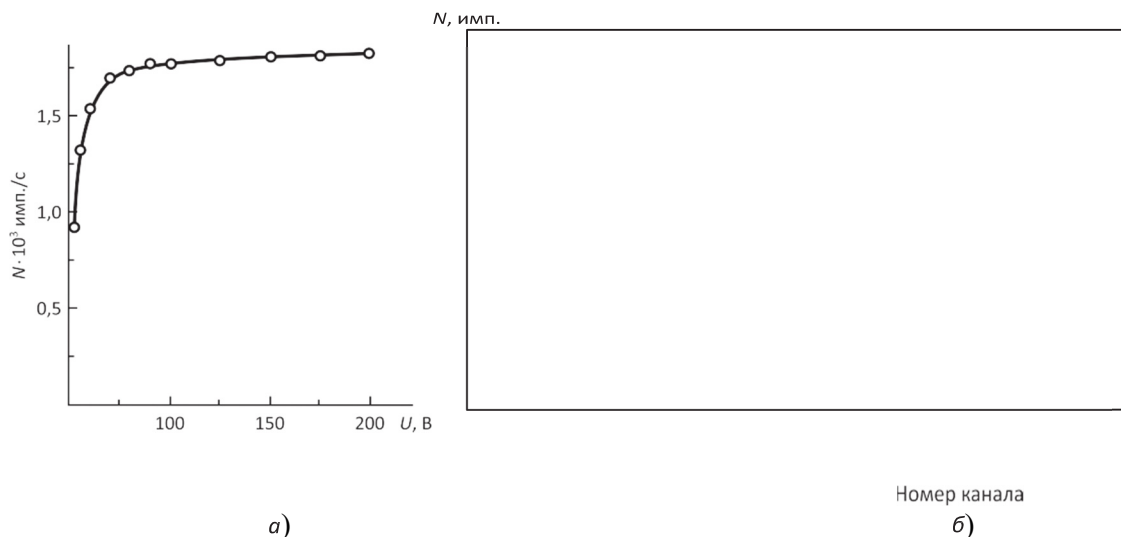


Рис. 3. Радиометрические характеристики Al- α Ge-pSi-Au детектора: $S = 50$ см²; $W = 0,3$ мм; *a* – счетные характеристики; *б* – энергетический спектр детектора по α -частицам ²²⁶Ra ($E = 7,65$ МэВ) при $U = 100$ В

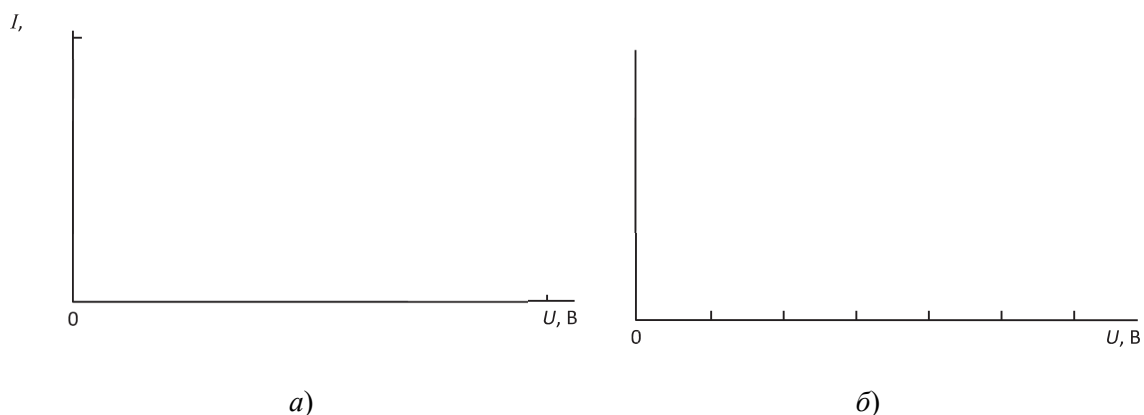


Рис. 4. Характеристики полупроводникового детектора на основе гетероструктуры Al- α Ge-pSi-Au большого диаметра ($= 100$ мм): *a* – вольтамперная; *б* – вольтфарадная

Таким образом, в данной работе рассмотрены технологические особенности изготовления детекторов ядерного излучения диаметром до 100 мм и толщиной до 0,5 мм, на основе Al-nGe-pSi-Au структур. Исследованы особенности вольтамперных и радиометрических характеристик детектора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раджапов С. А., Рахимов Р. Х., Джапклич М., Зуфаров М. А., Раджапов Б. С. Полупроводниковые детекторы ядерного излучения на основе гетерепереходных структур AL- α ge-PSI-AU для измерения малоинтенсивных ионизирующих излучений // Computational Nanotechnology. 2018. № 3. С. 65–67.

2. Раджапов С. А., Раджапов Б. С., Рахимов Р. Х. Особенности технологии изготовления кремниевых поверхностно-барьерных детекторов большой чувствительной рабочей площадью для измерения активности естественных изотопов // Computational Nanotechnology. 2018. № 1. С. 151–154.

3. Муминов Р. А., Раджапов С. А., Раджапов Б. С., Зуфаров М., Мирзаев А. У. Исследование электрофизических и радиометрических характеристик кремниевых поверхностно-барьерных детекторов с большой чувствительной площадью // Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и наноструктурах : материалы IV Междунар. конф., 25–26 мая 2018 г. Фергана, 2018. С. 224–226.

БЕЗЫНЕРЦИОННЫЙ АМПЛИТУДНЫЙ ДЕТЕКТОР

Евгений Викторович Синельников

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение

Безынерционный амплитудный детектор - инновационное устройство, которое нашло широкое применение в различных сферах науки и техники. Оно позволяет измерять амплитуду сигнала без использования механических частей, что обеспечивает высокую точность и надежность измерений.

Традиционные амплитудные детекторы используются для определения мощности сигнала и используют неподвижную мембрану или диафрагму, которая колеблется под воздействием входного сигнала. Однако эти механические элементы имеют ряд ограничений, таких как ограниченная частотная характеристика и возможность поломки при повышенных уровнях сигнала.

В отличие от этого, безынерционный амплитудный детектор основан на использовании электронных компонентов, таких как операционные усилители и фазовращатели. Это позволяет ему работать на более высоких частотах и обеспечивать более точные измерения амплитуды сигнала. Кроме того, безынерционные детекторы обладают высокой стабильностью и надежностью, что делает их идеальным выбором для применения в научных и инженерных задачах.

Основная часть.

При детектировании сигналов с различной амплитудой, детекторная характеристика может быть представлена в виде кусочно-линейной функции. Процесс детектирования можно объяснить с помощью эпюр напряжения, представленных на рис. 1.

Исходя из рис. 1, выпрямленное напряжение на выходе детектора можно определить следующим образом: $U_{\sim} = U_0 \cos \theta$.

Учитывая это, коэффициент передачи детектора при детектировании сильных сигналов равен: $K = \frac{U_{\sim}}{U_0} = \cos \theta$.

Угол θ не зависит от U_0 , и поэтому эффекты детектирования по току и напряжению пропорциональны амплитуде входного напряжения. Детекторная характеристика представляет собой прямую с угловым коэффициентом, который равен $\cos \theta$. Именно поэтому такой детектор называется линейным детектором сильных сигналов. Однако стоит отметить, что на самом деле "линейный детектор" является нелинейным устройством с гораздо более выраженной нелинейностью, чем у квадратичного детектора.

Угол отсечки определяется по следующей формуле: $\theta = \sqrt[3]{\frac{3\pi}{SR}}$.

где S – крутизна диодной характеристики, R – нагрузка детектора.

Если на детектор подается АМ-сигнал, а сам детектор линеен и безынерционен по отношению к огибающей, то $U_{\sim} = U_0(t) \cos \theta = U_0 (1 + m \cos \Omega t) \cos \theta$.

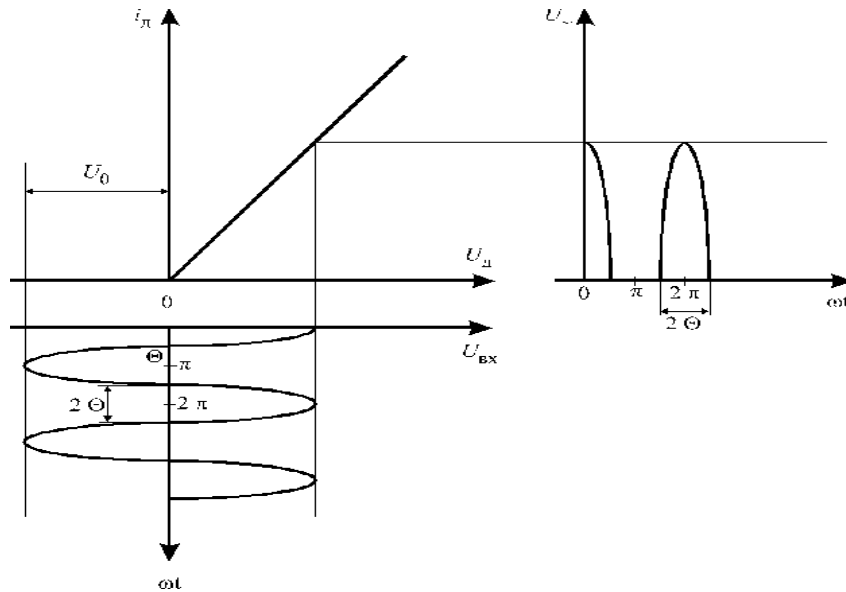


Рис. 1. Эпюры напряжений при детектировании сигналов сильной амплитуды

Отсюда: $U_{\Omega} = U_0 m \cos \theta$.

С учетом этого коэффициент передачи амплитудного детектора при детектировании АМ-колебания определяется выражением: $K = \frac{U_{\Omega}}{mU_0} = \cos \theta$.

Таким образом, идеальный безынерционный детектор не создает нелинейных искажений огибающей, так как его коэффициент передачи постоянен и равен $\cos \theta$. Величина коэффициента передачи детектора может быть очень близкой к единице при достаточно большом произведении SR . Это приводит к тому, что в современных приемниках применяют, как правило, режим детектирования сильных сигналов.

Входное сопротивление детектора в этом режиме определяется по формуле:

$$R_{\text{вх}} = R \frac{\tan \theta - \theta}{\theta - 0,5 \sin 2\theta}.$$

При короткозамкнутом детекторе ($R = 0$, $\theta = \pi/2$) входное сопротивление в режиме короткого замыкания равно: $R_{\text{вх}} = R_{\text{вхк}} = \frac{2}{S} = 2R_i$, где R_i – внутренне сопротивление диода.

При большом сопротивлении нагрузки ($R \gg R_i$) $\theta \rightarrow 0$ и входное сопротивление детектора определяется выражением: $R_{\text{вх}} = \frac{R}{2}$.

Приведенные выше соотношения получены при условии неподвижности рабочей точки диода при подаче напряжения $U_{\text{вх}}$.

В реальных условиях значение C_n ограничено, что приводит к снижению коэффициента передачи детектора и углублению пульсаций выходного напряжения.

При изменении C_n от бесконечности до 0 при достаточно большом произведении SR коэффициент передачи детектора изменяется от 1 до 0,3. При выборе величины емкости нагрузки детектора необходимо, чтобы выполнялось условие $C_g \ll C_n$, т.е. емкость нагрузки должна быть намного больше проходной емкости диода.

Безынерционные амплитудные детекторы являются важным инструментом в области радиотехники и электроники. Они используются для измерения амплитуды сигнала без задержек, связанных с инерцией традиционных детекторов. Это позволяет получать более точные и быстрые результаты.

Одним из наиболее распространенных типов безынерционных амплитудных детекторов является схема Фультона-Харриса. В этой схеме амплитудный сигнал проходит через комбинацию операционных усилителей и резисторов, что приводит к выходному напряжению, пропорциональному амплитуде входного сигнала.

Другой тип безынерционного амплитудного детектора – это гомодинный детектор. Он использует метод двухчастотного смешивания для измерения изменений фазы и амплитуды входного сигнала. Гомодинный детектор обладает высокой чувствительностью и широким динамическим диапазоном.

Безынерционные амплитудные детекторы находят применение во многих областях, включая телекоммуникации, радарную технику и медицинскую диагностику. Они позволяют получать точные и надежные данные о сигналах различной частоты и амплитуды.

Безынерционный амплитудный детектор – это устройство, которое используется для измерения и контроля амплитуды электрического сигнала. Его принцип работы основан на использовании безмассовых элементов, таких как полупроводниковые диоды или транзисторы.

Основная идея безынерционного детектора заключается в том, что он не имеет подвижных частей или механизмов, которые могут создавать инерцию и ограничивать его способность регистрировать быстро изменяющиеся сигналы. Вместо этого он использует эффекты полупроводниковых материалов для преобразования входного сигнала в соответствующий выходной сигнал.

Принцип работы безынерционного амплитудного детектора основан на использовании различных методов модуляции, таких как амплитудная модуляция (АМ), частотная модуляция (ЧМ) или фазовая модуляция (ФМ). Данный тип детектора обрабатывает входной сигнал путем его прохождения через различные фильтры и усилители, чтобы получить только необходимую информацию об амплитуде сигнала.

Безынерционные амплитудные детекторы широко используются в различных областях, таких как телекоммуникации, радиосвязь, медицинская техника и научные исследования.

Безынерционные амплитудные детекторы являются инновационными устройствами, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными детекторами. Во-первых, они обладают высокой точностью и чувствительностью при измерении амплитуды сигнала. Безынерционные детекторы способны обнаруживать самые маленькие изменения в амплитуде сигнала, что позволяет использовать их в широком спектре приложений, таких как медицинская диагностика, научные исследования и промышленная автоматизация.

Во-вторых, безынерционные детекторы не требуют электромеханической системы для работы. Это означает, что они не подвержены износу и не требуют постоянного технического обслуживания. Также нет необходимости в калибровке или настройке устройства перед каждым использованием.

Кроме того, безынерционные амплитудные детекторы обладают высокой скоростью отклика. Они способны быстро регистрировать изменения в амплитуде сигнала и передавать данные в режиме реального времени. Это особенно полезно для приложений, требующих быстрых измерений, таких как контроль качества производства или мониторинг окружающей среды

Безынерционные амплитудные детекторы широко применяются в различных областях науки и техники. В медицине они используются для измерения амплитуды сердечных сокращений, что позволяет контролировать работу сердца и выявлять возможные отклонения. В радиотехнике безынерционные амплитудные детекторы помогают определить мощность сигнала и его уровень шума, что необходимо при проектировании и настройке радиоприемников.

В области связи безынерционные амплитудные детекторы используются для измерения уровня сигнала в телефонной линии или беспроводном канале передачи данных. Это позволяет контролировать качество связи и принимать необходимые меры для устранения помех или повышения эффективности передачи информации.

Также безынерционные амплитудные детекторы находят применение в физике, где используются для измерения амплитуд колебаний в экспериментах по определению характеристик материалов или структур. Они также могут быть использованы для измерения амплитуд сейсмических волн, что позволяет контролировать и предсказывать землетрясения.

В целом, безынерционные амплитудные детекторы являются важными инструментами в различных областях науки и техники.

В последние годы безынерционные амплитудные детекторы получили широкое применение в различных областях науки и техники. Однако, их развитие не останавливается, и с каждым годом появляются новые перспективные направления.

Одной из перспективных областей является создание более компактных и эффективных безынерционных амплитудных детекторов. Современные устройства требуют большого пространства и ресурсов, что ограничивает их использование в некоторых приложениях. Разработка новых технологий позволит значительно сократить размеры устройств без потери функциональности.

Еще одной перспективой является повышение чувствительности безынерционных амплитудных детекторов. Важным фактором для многих задач является возможность обнаружения слабых сигналов или изменений в амплитуде с высокой точностью. Усовершенствование методик обработки данных, использование новых материалов и компонентов поможет достичь более высоких показателей чувствительности.

Также стоит отметить перспективы применения безынерционных амплитудных детекторов в медицине. Возможность точного измерения амплитуды сигналов может быть полезна для мониторинга функций организма и диагностики различных заболеваний.

Заключение. В данной статье был рассмотрен безынерционный амплитудный детектор для измерения амплитуды сигнала, а также выделены преимущества и недостатки данного устройства. Рассмотрели принцип работы, области применения и перспективы в развитии безынерционных амплитудных детекторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Момот Е. Г. Проблемы и техника синхронного приема. М. : Связьиздат, 1961.
2. А.С. 171027 СССР, МПК Н 03d. Энергетический амплитудный детектор / Зельманов С. С., Агеев Д. В. № 871214 ; заявл. 19.12.1963 ; опубл. 11.05.1965. Бюл. № 10.
3. А. С. 1385243 СССР, Н 03 Д1 / 06. Энергетический амплитудный детектор / Зельманов С. С. № 4043505 ; заявл. 27.03.1986 ; опубл. 30.03.1988. Бюл. № 12.
4. Пат. № 2351059. Энергетический амплитудный детектор с многократной обратной связью / Зельманов С. С. № 2007133057 ; зарег. в гос. реестре изобретений Российской Федерации 27.03.2009 : с приоритетом от 03.09.2007.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ТЕНЗОДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМОГО В СОСТАВЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Елизавета Анатольевна Рыблова

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Полупроводниковые тензорезистивные датчики давления широко применяются в различных отраслях промышленности. Как правило, такие датчики являются первичными преобразователями в составе информационно-измерительных систем применяемых в авиапромышленности, ракетно-космической промышленности, железнодорожном транспорте. Широкое распространение обусловлено простотой конструкции, надежностью и проработанностью технологии изготовления. Однако существенным недостатком таких датчиков является температурная зависимость выходного сигнала, так как такие датчики часто работают в условиях высоких температур.

В статье [1] описаны методы определения концентрации легирующей примеси, позволяющей снизить температурную составляющую погрешности выходного сигнала. В результате расчета было получено, что при концентрации легирующей примеси $N = 5,13 \cdot 10^{19}$ температурная погрешность минимальна.

Для определения температурной погрешности выходного сигнала полной мостовой схемы из тензорезисторов (мост Уитстона) расположенных на чувствительном элементе полупроводникового датчика давления был разработан алгоритм, блок-схема которого представлена на рис. 1. Для наилучшего понимания расчета температурной погрешности выходного сигнала, приводится подробное описание данного алгоритма.

Для начала задается минимальное значение температуры $T_{min} = 293 \text{ K}$, а также значения сопротивлений тензорезисторов мостовой схемы, формулы (1)-(4).

$$R_1 = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\pi 44}{2} \cdot \sigma \cdot P(T_{min})\right) \quad (1)$$

$$R_2 = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\pi 44}{2} \cdot \sigma \cdot P(T_{min})\right) \quad (2)$$

$$R_3 = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\pi 44}{2} \cdot \sigma \cdot P(T_{min})\right) \quad (3)$$

$$R_4 = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\pi 44}{2} \cdot \sigma \cdot P(T_{min})\right) \quad (4)$$

Затем рассчитывается выходное напряжение мостовой схемы при питании от источника напряжения по формуле (5):

$$U_{max} = U_p \cdot \frac{R_1 \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \quad (5)$$

Задается условие если значение температуры T меньше или равно максимальному значению температуры «Если $T \leq T_{max}$ », то выполняется следующий расчет

сопротивления каждого из тензорезисторов с учетом ТКС (температурного коэффициента сопротивления) по формуле (6), при каждом значении температуры.

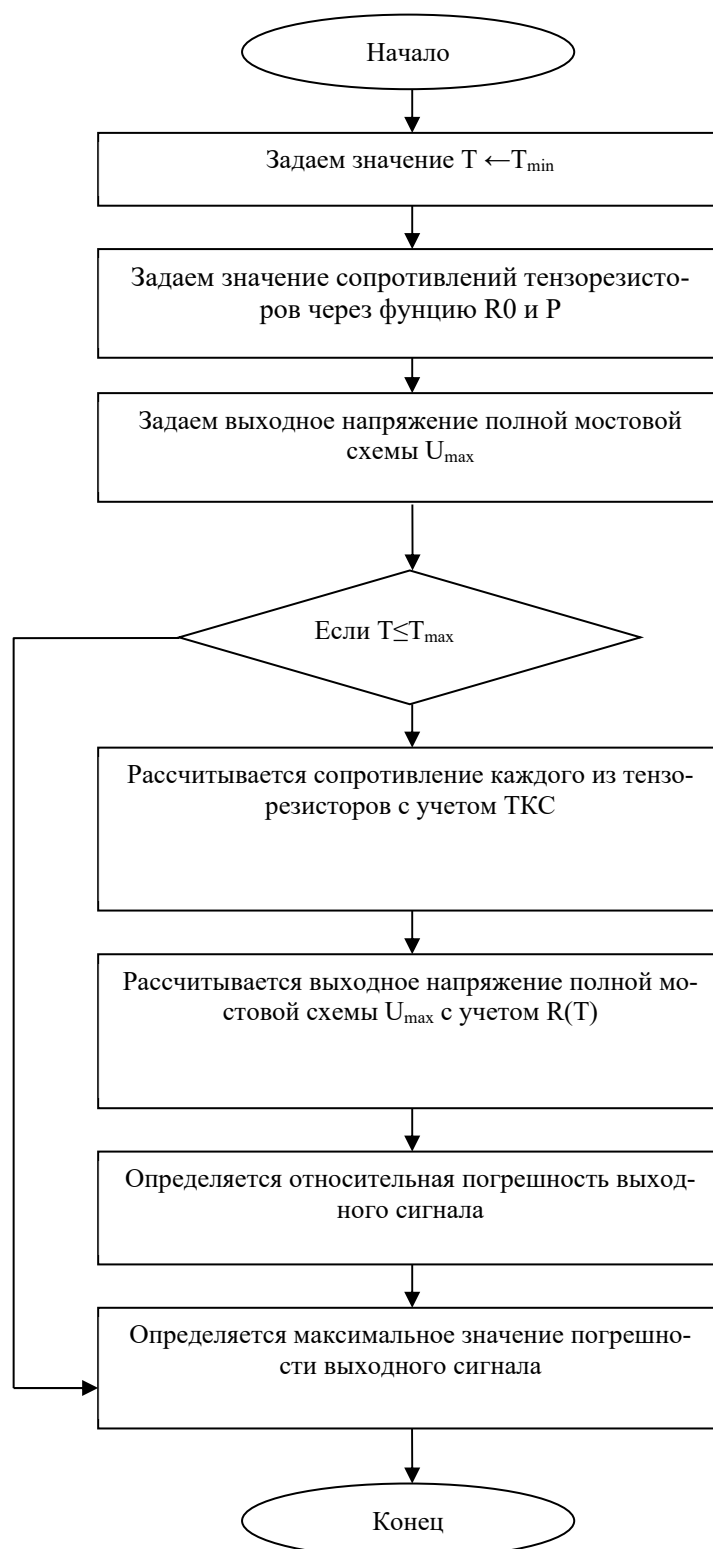


Рис. 1. Алгоритм определения максимального значения относительной погрешности выходного сигнала мостовой схемы

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T_{\max} - T)) \cdot (1 + \frac{\pi 44}{2} \cdot \sigma \cdot P(T)) \quad (6)$$

После определения сопротивления каждого из тензорезисторов определяется значение выходного напряжения мостовой схемы с учетом рассчитанных сопротивлений по формуле (7).

$$U_{\max} = U_p \cdot \frac{R_1(T) \cdot R_4(T) - R_2(T) \cdot R_3(T)}{(R_1(T) + R_2(T)) \cdot (R_3(T) + R_4(T))} \quad (7)$$

Определяется относительная погрешность выходного сигнала по формуле (8) для каждого случая, получается массив значений относительной погрешности

$$\delta = \left| \frac{U_i - U_{\max}}{U_{\max}} \right| \cdot 100\% \quad (8)$$

Из массива полученных значений погрешности выходного сигнала находим максимальное значение, которое равно 0,41%.

Таким образом, определив концентрацию легирующей примеси можно снизить температурную погрешность выходного сигнала полупроводникового тензорезистивного датчика давления. Данные полученные графическим и аналитическим методами определения концентрации легирующей примеси, позволяющей снизить температурную зависимость сведены в табл. 1.

Таблица 1

Метод определения концентрации	Значение концентрации	Температурная погрешность выходного сигнала
Графический метод	$5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$	2,14 %
Аналитический метод (алгоритм)	$5,13 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$	0,41 %

Проведенное исследование показало, что значения концентрации легирующей примеси, полученные графическим и аналитическим методом отличаются на $0,13 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, при этом температурная погрешность выходного сигнала, при значении концентрации, найденном аналитическим методом значительно ниже значения температурной погрешности, при значении концентрации, найденном графическим методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыблова Е. А., Волков В. С. Определение оптимального значения концентрации легирующей примеси // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте : сб. ст. XI Всерос. науч.-техн. конф. молодых ученых и студентов с междунар. участием. Пенза, 2023. С. 380–385.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Екатерина Алексеевна Рассыпнова¹, Илья Александрович Шестаков²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Многие предприятия, которые в прошлом достигали больших результатов, в настоящее время сталкиваются с трудностями при решении управленческих задач. Причиной тому действующая на предприятиях система менеджмента качества, опирающаяся на стандарты ИСО серии 9000 [1, 2], в основе которых лежит аудит, а по сути, контроль бизнес-процессов. Однако очевидно, что контроль в случае уже готового продукта малоэффективен. Главной целью контроля на последнем этапе является лишь отделение качественной продукции от бракованной, что в свою очередь увеличивает стоимость, но никак не повышает качество изделия. Таким образом, ключевой задачей менеджмента предприятия становится обнаружение дефектов, что, к сожалению, приводит только к увеличению их количества [3].

На всех предприятиях обнаружением дефектов изготавливаемой продукции занимается ряд конкретных подразделений, таких как отдел технического контроля, нормоконтроль и другие, которые напрямую заинтересованы в наличии дефектов. Таким образом, главным вопросом на предприятии является повышение качества изготавливаемой продукции и обеспечение должной конкурентоспособности.

Любое предприятие в ходе производственной деятельности сталкивается с определенными видами потерь [4]. Скрытые потери встречаются на любом этапе производственной системы – от закупки материалов до продажи на рынке. Рассмотрим основные виды потерь:

- потери от перепроизводства,
- потери от дефектов и переделки,
- потери от перемещений,
- потери от транспортировки [6],
- потери от излишних запасов,
- потери от излишней обработки,
- потери от времени ожидания,
- потери интеллектуального капитала.

Основной причиной потерь от перепроизводства является большой выпуск продукции. Производство изготавливает продукцию «на всякий случай» вместо необходимого количества «точно в срок». Главными причинами, из-за которых продолжительность производственного цикла увеличивается, являются [5]:

- неточности в планировании,
- большие заделы,
- большое время переналадки, недостаточно тесный контакт с заказчиками (что приводит к недопониманиям).

Беспокойство, что заказчикам может понадобиться больший объем, приводит предприятие к излишним затратам на изготовление продукции, которую потом не удастся продать.

Потери из-за дефектов или необходимости переделки возникают в случае отсутствия надежной превентивной системы, которая включает методы пока-ёкэ (Рока-Уокэ) и встроенную защиту от ошибок [7]. В случае возникновения ошибки на каком-либо этапе производства и передачи этого дефектного продукта на

следующий этап предприятие будет вынуждено затратить финансовые и трудовые ресурсы на переделку. Таким образом, на выходе ресурсы затрачиваются в двойном размере, в то время как заказчик заплатил только за один продукт.

Не менее существенными являются потери от перемещений. Такие виды потерь появляются в случае лишних перемещений сотрудников, передвижений материалов, продуктов, оборудования без крайней необходимости. Время, которое сотрудники тратят на перемещение, например, от своего участка до склада, приводит к простоям на производстве, вследствие чего эффективность рабочих процессов падает, что невыгодно для предприятия. Изначально, каждый производственный процесс планировался таким образом, чтобы сократить необоснованные перемещения, но несмотря на это потери от перемещений очень актуальны в настоящее время. Лишние перемещения необходимо устранять, так как возникающие из-за этого потери хоть и незаметны, но сильно сказываются на результате.

Возникновение транспортных потерь часто обусловлено большим расстоянием между последующими этапами производства. При транспортировке продуктов и материалов на расстояние создается необходимость в найме автопогрузчиков, транспортных средств, конвейеров и прочего. Всё это вынуждает предприятие затрачивать дополнительные ресурсы, которые, к сожалению, не добавляют стоимости готовому продукту. Для того, чтобы сократить потери от транспортировки необходимо по возможности располагать соседствующие операции рядом друг с другом и минимизировать лишние перемещения на дальнейшее расстояние без необходимости.

Причиной возникновения потерь от излишней обработки является низкое качество используемого оборудования. Качественное и современное оборудование важный аспект успешного производства [8, 9]. Переделки продукта из-за некачественной обработки, вызванной плохой работой инструмента, приводит к затрачиванию времени, вследствие чего возникают всё те же простои производства. Так же причиной таких потерь может стать добавление функциональных возможностей, в которых заказчик не нуждается. Таким образом, дополнительный ресурс был затрачен, но в глазах покупателя продукт не прибавил ценности.

Большое количество переделок и дефектов, нераспланированная нагрузка на производстве, ненадежные поставщики, завышенное время производства продукта являются основными причинами потерь от излишних запасов. Запасы занимают лишнее место на складе, а так же требуют выплат банковских процентов, что нецелесообразно для предприятия.

Потери от времени ожидания возникают в случае, когда готовая продукция простаивает на каком-либо этапе производства в ожидании рабочей силы, недостающих материалов или информации. Причинами этого являются нехватка сотрудников, проблема в планировании производственных процессов, непроверенные поставщики. Все это приводит к задержкам, вследствие чего предприятие теряет ресурсы и потенциальных заказчиков.

Также не менее важными являются потери от интеллектуального капитала. Это не самый очевидный вид потерь, однако достаточно существенный. Главная причина потери от интеллектуального капитала – это обесценивание мнения рабочего класса. Ежедневно рабочие заняты в реальном производственном процессе и знают проблему «изнутри», и соответственно, могут предложить решение, которое не только устранил проблему, но и может улучшить производственный процесс. Тем не менее, на современных предприятиях руководители принимают решения самостоятельно, не спрашивая мнения сотрудников низшего уровня, что не всегда приводит к успешному решению проблемы.

Основные виды потерь промышленного предприятия представлены на рис. 1.



Рис. 1. Основные виды потерь промышленного предприятия

Таким образом, основная проблема менеджмента качества предприятия кроется в излишнем внимании руководителей на оргструктуре и оборудовании. Для решения этой проблемы необходимо сменить «культуру управления», выстроить корректную систему между различными подразделениями предприятия и производственными процессами, а также обеспечить хорошее взаимоотношение между сотрудниками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124393> (дата обращения: 29.08.2023).
- ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124394> (дата обращения: 29.08.2023).
- Artamonov D. V., Golubkov P. E., Pecherskaya E. A., Shepeleva Y. V., Martynov A. V., Zinchenko T. O. Methods of applying the reliability theory for the analysis of micro-arc oxidation process // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1124 (8). P. 081014.
- Фомичев С. К., Старостина А. А., Скрыбина Н. И. Основы управления качеством : учеб. пособие. 2-е изд., стер. Киев : МАУП, 2002.
- Сухова Н. А. Разработка основ проектирования организации производственных процессов // Экономическая безопасность: правовые, экономические, экологические аспекты : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Курск, 2017. С. 252–255.
- Алесинская Т. В. Основы логистики. Общие вопросы логистического управления : учеб. пособие. Таганрог : ТРТУ, 2005.
- ГОСТ Р 56404–2015. Бережливое производство. Требования к системам менеджмента. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200120646> (дата обращения: 30.08.2023).
- Голубков П. Е., Печерская Е. А., Мартынов А. В. Применение инструментов контроля качества для анализа процесса микродугового оксидирования // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : тез. докл. Третьей всерос. молодеж. науч. конф. Тамбов, 2018. С. 111–113.
- Листюхин В. А., Печерская Е. А., Артамонов Д. В., Зинченко Т. О., Анисимова А. А. Повышение надежности воздушных линий электропередачи посредством внедрения информационно-измерительных систем контроля их параметров // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3 (41). С. 62–68.

КОНЦЕПЦИЯ JИT КАК МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ

Екатерина Алексеевна Рассыпнова¹,
Илья Александрович Шестаков²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Just In Time или Точно вовремя (Точно в срок) в настоящее время является одной из самых распространенных концепций в мире. Кроме того, JИT это один из основных принципов бережливого производства [1]. Суть данной концепции в организации перемещения материалов таким образом, чтобы все компоненты, полуфабрикаты при наличии заданного производственного расписания поступали в место производства, сборки и т.д. в нужном количестве, а также в строго назначенный срок.

Концепция точно вовремя чаще всего находит применение в промышленных системах, особенностью которых является тщательное соблюдение сроков на каждой стадии изготовления.[4] Изготавливаемые продукты должны прибывать на каждый этап ровно тогда, когда на предшествующей стадии процесс был завершен. Именно по этой причине концепция и получила название точно в срок (точно вовремя). По итогу, благодаря такой системе удастся минимизировать ожидание какого-либо процесса, а также исключить простои рабочих и оборудования в ожидании поступления продукта.

Зарождение концепции JИT произошло в конце 1950-х годов в Японии. Ее автором является японский инженер и предприниматель Тайити Оно и его коллеги. Неудивительно, что данный подход зародился в стране лидере по качеству выпускаемых товаров. Японцы очень серьезно относятся к качеству выпускаемой ими продукции, так как считают, что брак или исправление дефектов – это недопустимая трата материалов, средств и времени, а большие запасы необоснованно занимают свободное пространство. [1]

Зачастую встречается мнение, что концепция точно вовремя - это просто система, главной задачей которой является сведение к минимуму незавершенных процессов на производстве и запасов на складе. Но в действительности данная концепция представляет собой особую философию, в которой уделяется особое внимание каждому этапу изготовления продукции, а так же продаже и обслуживанию после. Данная философия стремится к созданию такой системы, которая будет хорошо функционировать с минимальным уровнем материальных запасов, минимальным пространством и минимальным делопроизводством.

Главной целью концепции JИT является создание такой системы, которая за короткий срок будет беспрепятственно обеспечивать движение материальных потоков через всю систему, оптимально используя все необходимые ресурсы. Достичь этой цели можно в случае достижения следующих вспомогательных целей:

- исключение любых сбоев и нарушений процессов производства;
- разработка гибкой системы;
- сокращение времени на подготовку к процессу и всех производственных сроков;
- минимизировать материальные запасы;
- исключить необоснованные затраты.

Любые сбои или нарушения отрицательно влияют не только на конкретные процессы, но и на всю систему в целом. Причиной таких срывов может стать низкое качество материалов [9, 10], неисправное или старое оборудование, неквалифициро-

ванный специалист, смена поставщика и прочее. Исключив эти причины, сбои и нарушения на производстве будут минимальны или вовсе будут отсутствовать.

Время на подготовку и производственные сроки не несут никакой выгоды, а напротив, замедляют процесс. Кроме того, не исключив эти сроки достаточно тяжело добиться гибкой системы. Таким образом, для достижения цели и усовершенствования системы от этих сроков следует отказаться.

Сведение к минимуму или полное устранение материальных запасов на производстве поможет освободить место, а следовательно снизить стоимость производства.

Для расширения производства и освобождения ресурсов важно устранить необоснованные расходы, которые в философии ЛТ включают в себя [4]:

- перепроизводство;
- время ожидания;
- ненужные перевозки;
- хранение материальных запасов;
- брак продукции;
- дефекты изделий.

Наличие подобных необоснованных расходов говорит о возможности усовершенствования или список необоснованных расходов определяет потенциальные цели непрерывного усовершенствования.

В современной концепции ЛТ большое значение уделяется следующим пяти кадровым и организационным элементам [6]:

- Рабочие как актив
- Обучение рабочих смежным специальностям
- Непрерывное усовершенствование
- Бухгалтерский учет
- Руководство предприятием/проектом

Основополагающий принцип концепции ЛТ - считать рабочий класс активом предприятия. В сравнении с более традиционной системой, философия «точно в срок» предполагает, что хорошо квалифицированные специалисты имеют больше прав в принятии решений, но, соответственно, несут большую ответственность.

Рабочие постоянно совершенствуют свои знания, осваивая смежные специальности для возможности работать на различном оборудовании. Разнокалиброванные специалисты могут оказать помощь коллеге или заменить другого сотрудника в случае его отсутствия, не задерживая производственный процесс.

Отличительной особенностью системы «точно в срок» от более традиционной, является большая ответственность рабочих за качество продукции. Благодаря прохождению серьезной подготовки в области статического управления процессом, улучшения качества и решения проблем рабочие могут беспрепятственно вносить вклад в процесс непрерывного усовершенствования.[8]

Еще одним важным фактором в рассматриваемой системе является особый способ распределения накладных расходов. В традиционных методах учета распределение расходов происходит на основе непосредственно отработанных часов, что зачастую приводит к некорректному результату.

Вместе с тем немаловажную роль в «точно-срочных» системах играет руководство. Большое значение имеет наличие у управляющего лидерских качеств, а также возможность оказать необходимую помощь. Значительным преимуществом будут хорошие взаимоотношения между руководителем и рабочим.

Неотъемлемой частью системы ЛТ является точное следование стабильным сбалансированным рабочим графикам. Для достижения данной цели необходимо составить производственный график с равномерным распределением рабочей загрузки на каждом этапе производства.

На сегодняшний день выделяют два способа перемещения работы через производственную систему.[5] Первый способ получил название «толкающий», второй – «тянущий». Для «толкающих» систем (push system) характерно «выталкивать» продукцию на следующий этап сразу же после завершения операции на текущем, а в случае конечной операции – на склад готовой продукции. В отличие от «толкающих» систем в «тянущих» (pull system) продукция «притягивается» на каждый последующий этап по мере необходимости, а с конечного этапа выходит в установленный производственный срок или запросом потребителя. Концепция «точно в срок» использует «тянущий» подход для управления производственной системой, а традиционный метод – «толкающий» подход.

Важным аспектом в системах ЛТ являются своевременные поставки с качественными материалами. В таких системах в отличие от традиционных, где покупатель сам проверяет качество и количество закупаемых материалов и возвращает неудовлетворительный товар поставщику, считается нецелесообразным затрачивать резервное время на тщательную проверку и соответствие материалов, поэтому очень важно найти надежного поставщика и установить с ним хорошие взаимоотношения [8, 11].

В настоящее время, концепция ЛТ признана одной из самых эффективных концепций в мире и все чаще находит частичное или полное применение в современных крупных организациях благодаря таким преимуществам как небольшой объем запасов, высокое качество продукции, уменьшение сроков на производство, сокращение объема бракованных товаров и исключение переработок. Организации, которые используют концепцию ЛТ, значительно опережают своих конкурентов, использующих более традиционный подход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомичев С. К., Старостина А. А., Скрыбина Н. И. Основы управления качеством: учеб. пособие. 2-е изд., стер. Киев : МАУП, 2002.
2. Монден Я. Система менеджмента Тойоты. М. : Институт комплексных стратегических исследований, 2014. 300 с.
3. Сухова Н. А. Разработка основ проектирования организации производственных процессов // Экономическая безопасность: правовые, экономические, экологические аспекты : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Курск, 2017. С. 252–255.
4. Шенбергер Р. Японские методы управления производством: 9 простых уроков / под ред. Л. А. Конарева. М. : Экономика, 1988. 251 с.
5. Алесинская Т. В. Основы логистики. Общие вопросы логистического управления : учеб. пособие. Таганрог : ТРТУ, 2005.
6. Болтрукевич В. Точно вовремя для рабочих. М. : Институт комплексных стратегических исследований, 2008. 70 с.
7. Герчикова И. Н. Менеджмент : учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 511 с.
8. Уайт О. У. Управление производством и материальными запасами в век ЭВМ. М. : Прогресс, 1978. 302 с.
9. Печерская Е. А., Печерская Р. М., Рябов Д. В., Кузнецова О. К вопросу об эффективности измерений в технологических процессах // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 2. С. 98–99.
10. Голубков П. Е., Печерская Е. А., Мартынов А. В. Применение инструментов контроля качества для анализа процесса микродугового оксидирования // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : тез. докл. Третьей всерос. молодеж. науч. конф. Тамбов, 2018. С. 111–113.
11. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В., Козлов Г. В., Печерский А. В. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 2 (28). С. 99–107.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

ОЦЕНКА МЕТОДОВ И СТРУКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Илья Михайлович Рыбаков¹, Виктор Дмитриевич Ежижанский²,
Александр Евгеньевич Яркин³, Егор Андреевич Асеев⁴,
Карина Сергеевна Бычкова⁵

^{1,2,3,4,5} Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение. В нынешнее время все большее количество радиоэлектронной аппаратуры оснащается различными датчиками, которые позволяют измерять как численные характеристики внешней среды, так и показатели, характеризующие работу непосредственно самой техники. Данная аппаратура преобразует первичную информацию, получаемую в виде, например, непрерывного (аналогового) электрического сигнала в дискретный (цифровой) сигнал, который, в свою очередь, уже пригоден для обработки цифровыми устройствами. Преобразователь, как и любое другое устройство, неидеален, и все характеристики, описывающие его работу, имеют некоторую погрешность, что в итоге вызывает увеличение погрешности работы датчика, а, следовательно, уменьшает точность работы всей аппаратуры. Существуют различные методы, которые позволяют частично решить обозначенную выше проблему.

Исследованы методы коррекции характеристик преобразования. Методы автоматической коррекции и конструктивные решения для параметров энергоносителя, параметров микроклимата и метеорологических параметров лежат в основе физических процессов в измерительных каналах. Диапазон изменения температуры охлаждающей воды не оказывает существенного влияния на параметры металлического термистора. Термистор – это полупроводниковый элемент, электрическое сопротивление которого зависит от температуры. Он состоит из материала с высоким коэффициентом температурного сопротивления, такого как оксид металла или полупроводниковый материал. Принцип работы термистора основан на изменении электрического сопротивления материала в зависимости от температуры. Когда термистор нагревается, электрическое сопротивление снижается, а когда он охлаждается, сопротивление увеличивается. Наиболее распространены два типа термисторов: NTC (отрицательный температурный коэффициент) и PTC (положительный температурный коэффициент). В случае NTC термистора, чем выше температура, тем ниже его электрическое сопротивление. При этом, при подключении к электрической цепи с постоянным напряжением, ток, протекающий через термистор, увеличивается с увеличением температуры. PTC термистор, напротив, имеет обратное поведение: чем выше температура, тем выше его сопротивление. При подключении к электрической цепи с постоянным напряжением, ток, протекающий через термистор, уменьшается с увеличением температуры. Термисторы широко применяются в системах контроля и регулирования температуры, таких как

термостаты, термодатчики, защитные устройства от перегрева, устройства автоматического запуска и остановки и так далее. Структура и расположение измерительных каналов температуры, давления и расхода охлаждающей воды в процессе эксплуатации не позволяют реализовать калибровочные эффекты на входах первичного измерительного преобразователя. Поэтому остальные измерительные каналы должны быть стабилизированы.

Для учета влияния различных факторов на первичный измерительный преобразователь, например, температурной коррекции инфракрасного давления, используется математическое моделирование. Коррекция характеристик преобразования на основе методов выборочных сигналов выполняется двумя основными подгруппами: коррекция на основе образцовых воздействий, формируемых с использованием измеряемых величин, и коррекция без использования измеряемых величин. В первом случае в качестве основы для формирования выборочных эффектов используются скорректированные результаты, а каждое основное измерение сопровождается процедурой коррекции. Процедура коррекции при измерении температуры может включать несколько этапов в зависимости от условий и требований конкретного измерения. Основные этапы включают в себя: 1. Калибровка: Это первоначальная процедура, в ходе которой измерительное устройство испытывается с использованием известных точных значений температуры. Это позволяет определить возможные отклонения и необходимость корректировки показаний. 2. Компенсация среды: В некоторых случаях окружающая среда или условия измерения могут оказывать влияние на точность измерения температуры. Например, возможна коррекция показаний относительно атмосферного давления или влажности. 3. Компенсация кабеля: Если измерительный датчик подключен к измерительному прибору через длинный кабель, возможны потери сигнала или искажения. В этом случае может потребоваться коррекция показаний для учета этих потерь. 4. Компенсация тепловых потерь: В приборах или системах, где происходит передача тепла, возможны потери тепла, которые могут влиять на точность измерения температуры. Путем моделирования и компенсации этих потерь можно добиться более точных показаний. 5. Компенсация сопротивления: Термисторы и другие термодатчики обычно имеют некоторое внутреннее сопротивление, которое может влиять на точность измерений. С помощью компенсации сопротивления можно учесть это влияние и скорректировать показания. 6. Компенсация постоянной времени: Если система измерения имеет некоторую инерцию или задержку, связанную с изменением температуры, может потребоваться компенсация постоянной времени для достижения точных значений. В зависимости от конкретных условий и требований, эти и другие процедуры могут быть использованы для коррекции показаний температуры и достижения более точных результатов измерений.

Во второй группе методов выборочный эффект предопределяется в зависимости от диапазона измерений входных величин. Предлагаемое решение основано на процедуре коррекции, не использующей измеряемые величины. Принцип измерения входных величин температуры может быть разным и зависит от используемого метода или устройства измерения. Некоторые из основных принципов включают: 1. Терморезисторы: Этот метод основан на изменении электрического сопротивления материала в зависимости от его температуры. Наиболее распространенными типами терморезисторов являются платиновые или никелевые терморезисторы. При измерении температуры используется изменение сопротивления для определения значения. 2. Термопары: Термопары базируются на принципе термоэлектрического эффекта, по которому разность температур между двумя точками в цепи создает электрическую ЭДС. Термопары обычно состоят из двух проводников различных материалов, которые связаны в точке измерения. При изменении

температуры создается измеряемая ЭДС, которая позволяет определить значение температуры. 3. Инфракрасные (оптические) термометры: Этот метод измерения основан на использовании инфракрасного излучения, которое излучается телом при определенной температуре. Инфракрасный термометр регистрирует инфракрасное излучение и преобразует его в численное значение температуры. Этот метод особенно полезен для измерения температуры объектов, которые нельзя непосредственно соприкоснуться с датчиком. 4. Термисторы: Термисторы, как упоминалось ранее, являются полупроводниковыми устройствами, электрическое сопротивление которых изменяется в зависимости от температуры. Изменение сопротивления в термисторе используется для определения значения температуры. 5. Биметаллические элементы: Этот метод использует два слоистых материала с различными коэффициентами теплового расширения, которые соединены в полосу или пластине. При изменении температуры эти материалы расширяются или сжимаются по-разному, что приводит к механическому движению биметаллической полосы. Изгиб или искривление биметаллического элемента используется для определения значения температуры. В зависимости от требований и конкретных условий измерения, можно выбрать наиболее подходящий метод измерения температуры, который будет обеспечивать необходимую точность и надежность.

В зависимости от конструктивных, алгоритмических, схемных и дизайнерских решений по структуре основного измерительного канала, условий применения и факторов нестабильности возможны различные решения по формированию и введению корректирующего поведения.

При наличии в приборе аналогового тракта рекомендуется использовать алгоритм КН1. На этот тракт приходится основная часть систематической составляющей, и он подвержен изменениям коэффициентов преобразования под влиянием воздействующих факторов.

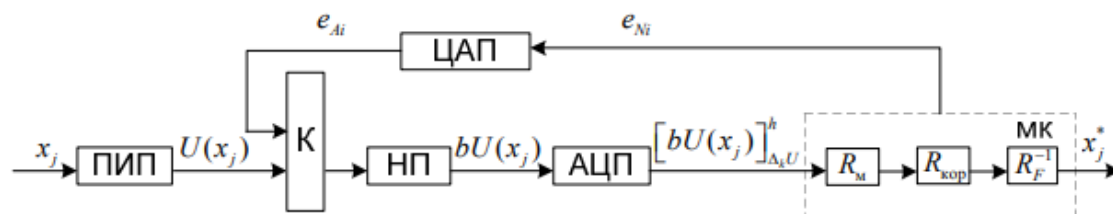


Рис. 1. Алгоритм КН1

1. Уравнение измерений принимает вид:

$$c_j^* = R_M R_{a-ц} R_{НП} R_{ПНП} X_j(c)$$

где c_j^* – промежуточное значение входной измеряемой величины, соответствующее текущему значению измеряемой величины $X_j(c)$

2. В режиме «Калибровка» в соответствии с диапазоном измерения $X_j(t)$ последовательно формируются n цифровых образцовых значений измеряемой ε_{Nj} величины, которые при помощи $R_{ц-а}$ – оператора цифро-аналогового преобразования преобразуются в аналоговые образцовые сигналы e_{Ai} . В качестве УОС в данном методе выступает цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)

$$\{e_{Ai}\} = \{R_{a-ц}(e_{Ni})\}, i = 1 \dots n$$

3. Значения e_{Ai} последовательно измеряются:

$$e_i^* = R_M R_{a-и} R_{НП} e_{Ai}(t)$$

4. Формируется массив погрешностей:

$$\{\Delta_{oi}\} = \{e_i^*\} - \{e_{Ni}\}, i = \overline{1 \dots k}$$

5. Определяются параметры корректирующей функции:

$$R_{кор} = R_z Z(X_j)$$

6. Результат измерений с учетом поправки:

$$x_j^* = R_F^{-1} R_{кор} c_j^*(t)$$

Состав полной погрешности в соответствии с уравнением измерения запишется в следующем виде:

$$\Delta x_j^* = \Delta_{н,о} x_j^* + \Delta_{nun} x_j^* + \Delta_a x_j^* + \Delta_r x_j^* + \Delta_k x_j^*$$

где $\Delta_{nun} x_j^*$ – трансформированная погрешность из-за отличия реальной характеристики преобразования первичного измерительного преобразователя от номинальной.

Наибольшие возможности для обеспечения метрологической надежности предоставляет коррекция аналоговой части измерительного канала. Это может быть достигнуто за счет резервирования аппаратуры для реализации коррекции систематической и случайной составляющих погрешности.

Основной причиной изменения калибровочных характеристик аналогового тракта измерительного прибора является температурная зависимость параметров этих элементов, когда полупроводниковые компоненты работают в разрешающем режиме (и схема измерительного прибора рассчитывается именно таким образом). Термостабилизация чувствительных элементов измерительного канала – вполне допустимый, но дорогостоящий прием.

Заключение. Алгоритмы и схемотехнические решения, автоматически компенсирующие характеристики преобразования, основаны на обеспечении кратковременной стабильности аналогового тракта при текущем значении влияющего фактора, обеспечивая заданную точность в любой момент времени в течение испытательного интервала. Разработка и реализация стабильного аналогового тракта представляет собой комплексный подход, учитывающий различные аспекты, такие как питание, компоненты, экранирование и тепловые эффекты. Оптимизация этих аспектов может помочь обеспечить стабильность работы аналогового тракта и минимизировать влияние потерь и искажений на сигнал. В связи с этим методы калибровки и компенсации могут применяться для корректировки нелинейностей и искажений, возникающих в аналоговом тракте. Это может включать использование заранее известных эталонов, внесение корректирующих факторов и другие методы, чтобы обеспечить точность преобразования сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ревунов М. С., Ревунов Д. С., Семенов А. Д. Повышение эффективности автоматизированной системы управления технологическим процессом регулирования массы бумажного полотна // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 1 (43). С. 17–23. doi: 10.21685/2307-5538-2023-1-2 EDN: IZVTVM
2. Полтавский А. В., Григорьев А. В., Мельничук А. И. [и др.]. Оптимизация моделей объектов информационно-измерительных и управляющих систем мобильных роботов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2 (44). С. 28–38. doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-4 EDN: SJEDOQ

3. Витушкин В. В. Автоматизация процесса выбора связного ресурса в условиях возможного перехода к режиму зональной навигации // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2023. Т. 1. С. 45–48 EDN: UPUYWI
4. 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. EDN: REOBGI
5. Иванов А. Д., Чернышев А. С., Чернышев С. Л. Метод систематизации и кодирования информации на основе матриц квантовых измерений // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 1. С. 23–24. EDN: LBAMSN
6. Реута Н. С., Рыбаков И. М., Кошеленко П. Г., Володин В. Ю. К проблеме анализа средств измерения и их влияние на показатели надежности // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2022») : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для обучающихся и молодых ученых (г. Пенза, 24–26 октября 2022 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 54–58. EDN: MYMWFY
7. Никулин С. В., Семенов А. Д. Использование нейронных сетей для расчета положения верхней планки напорного устройства бумагоделательной машины // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2022») : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. школы и конкурсом науч.-исслед. работ для обучающихся и молодых ученых (г. Пенза, 24–26 октября 2022 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 252–256. EDN: MITYMA
8. Рыбаков И. М., Лысенко А. В., Бростилов С. А., Герасимова Ю. Е. Информационно-измерительная и управляющая система теплофизического моделирования параметров электронной аппаратуры // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2022. № 2 (62). С. 36–45. doi: 10.21685/2072-3059-2022-2-3 EDN: BJZNEH

МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ

**Илья Михайлович Рыбаков¹, Виктор Дмитриевич Ежижанский²,
Александр Евгеньевич Яркин³, Карина Сергеевна Бычкова⁴,
Любовь Викторовна Логинова⁵**

^{1,2,3,4,5}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение. Климат в помещении может регулироваться и контролироваться с помощью различных механизмов. Рассмотрим некоторые из основных механизмов управления микроклиматом в помещении. Первым из них будет система отопления. Системы отопления используются для поддержания комфортной температуры в помещении. К ним относятся центральное отопление, радиаторы и теплые полы. Вентиляция: системы вентиляции способствуют воздухообмену в помещении и помогают поддерживать свежий воздух хорошего качества. Вентиляция может быть естественной (окна, форточки) или механической (механические вентиляторы, системы вентиляции). Кондиционирование воздуха: системы кондиционирования воздуха используются для охлаждения, нагрева и увлажнения воздуха в помещении. Они помогают поддерживать постоянную и комфортную температуру и уровень влажности. Освещение: освещение играет важную роль в создании комфортной обстановки в помещении. Правильно подобранные и отрегулированные источники света создают приятную атмосферу и повышают зрительный комфорт. Контроль влажности: для поддержания оптимального уровня влажности в помещении можно

использовать системы увлажнения или осушения воздуха. Это важно для предотвращения чрезмерной сухости или избыточной влажности воздуха. Звукоизоляция: Звукоизоляция помещений играет важную роль в создании комфортного микроклимата. Улучшенная изоляция позволяет предотвратить проникновение нежелательных шумов извне и улучшить звуковую обстановку в помещении. Управление энергопотреблением: использование энергосберегающих технологий и систем управления энергопотреблением позволяет создать эффективную и экологически безопасную среду в помещении (рис. 1).

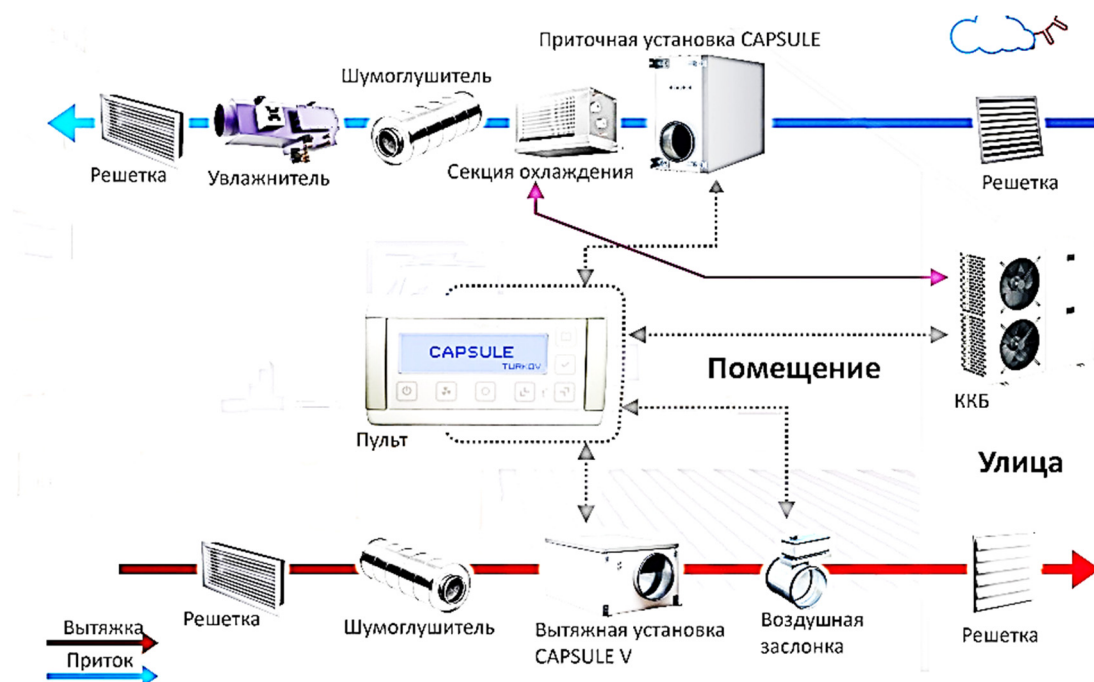


Рис. 1. Схема регулирования микроклимата в производственном помещении

Совместное применение этих механизмов позволяет создать в помещении комфортную и здоровую среду, пригодную для жизни и работы. IAMS также имеет ряд механизмов для применения априорных знаний по назначению информационных параметров, определяющих характеристики и поведение микроклимата в конкретном помещении. Они могут быть определены на основе анализа основных типов помещений и определяют основные управляющие воздействия для поддержания параметров микроклимата в заданных диапазонах. Анализ моделей двух выделенных основных типов помещений.

Маломощные комнатные модели. Термодинамический баланс микроклимата в помещении определяется суммой источников тепла, теплопотребления и утечки тепла. Теплосодержание помещения определяется суммой источников тепла, теплопотребления и утечки тепла:

$$Q_{\pi} = f\{\sum_k(q_k), \sum_j(p_j), \sum_l(u_l)\}$$

где q_k – количество тепла, поступающего от k -ого источника энергии в единицу времени, p_j – количество тепла, поглощаемого j -ым потребителем в единицу времени (например, кондиционер), u_l – количество тепла, уходящего из помещения по l -й причине в единицу времени. Для u_l это: строительные утечки, определяемые материалом стен, конструкций дверей и окон или открытая форточка, в случае управляемого процесса. Количество тепла, поступающего от k -ого источника

энергии в единицу времени зависит от его мощности w_k и значения управляющего сигнала $c_k - q_k = f(w_k, c_k)$.

Модель помещения со средним энергопотреблением (с технологическим процессом). В модели помещения с техническими процессами со средним (возрастающим) энергопотреблением происходит перераспределение весов источников энергии, возникают предаварийные и аварийные управления, что приводит к увеличению энергопотребления (тепловой энергии, электроэнергии). При этом количество тепла Q_p и модель теплового баланса $\Delta Q_p(t)$ остаются неизменными. Однако появляется важный показатель – энергоемкость технического процесса. Этот показатель требует разработки модели контроля и управления энергопотреблением, учитывающей возможность возникновения нештатных ситуаций, приводящих к увеличению энергопотребления.

Контроль аварийных ситуаций, приводящих к увеличению энергопотребления, является важной частью поддержания энергетической безопасности и стабильности электроэнергетической системы. Существуют различные виды контроля, которые могут применяться для управления аварийными ситуациями и минимизации их влияния на энергопотребление. Рассмотрим некоторые из них: 1. контроль и управление нагрузкой: При угрозе чрезмерного энергопотребления могут использоваться автоматические системы мониторинга, позволяющие отслеживать и регулировать нагрузку в режиме реального времени. Эти системы могут перераспределять нагрузку или отключать несущественные потребители для снижения общего энергопотребления; 2. Резервирование и резервные источники питания: При возникновении аварийной ситуации защитным решением может стать обеспечение резервных источников питания. Такими источниками питания могут быть резервные электростанции, аккумуляторы или аварийные генераторы, которые могут быть включены для обеспечения необходимого уровня энергоснабжения. 3. Совершенствование автоматического управления: Разработка более эффективных и автоматизированных систем управления позволит лучше контролировать и реагировать на аварийные ситуации. Это включает в себя разработку алгоритмов защиты и управления, обеспечивающих более быстрое и надежное реагирование на непредвиденные события, связанные с ростом энергопотребления. 4. Промышленная безопасность и техническое обслуживание: регулярное профилактическое обслуживание и мониторинг состояния оборудования помогут предотвратить аварийные ситуации, связанные с неисправностями или отказами. Контроль параметров и профилактическое обслуживание обеспечивают надежную работу энергетического оборудования и снижают вероятность аварий. Все эти меры контроля сочетаются с общей стратегией противоаварийного управления, направленной на минимизацию негативных последствий и обеспечение энергетической безопасности системы. Они основаны на технологическом прогрессе и постоянных разработках в области энергетики и автоматического управления.

Термодинамические модели помещений – это математические модели, описывающие тепловые процессы в помещении и позволяющие прогнозировать колебания температуры и равновесные условия в помещении в зависимости от различных параметров, таких как теплообмен с окружающей средой, тепловая нагрузка и работа систем отопления и кондиционирования. При этом учитываются различные факторы, такие как теплопотери через стены, окна и двери, приток и отток воздуха, тепловое излучение. Термодинамические модели помещений могут быть использованы для оптимизации внутренних систем ОВКВ, повышения энергоэффективности и улучшения комфортных условий. В связи со сложностью задачи анализа эффективного управления энергопотреблением и микроклиматом в зданиях и сооружениях, их многофункциональностью и зависимостью от большого

числа параметров и влияющих факторов, результаты контрольных измерений $\mathbf{X}^*(t)$, термодинамической модели помещения $Q_{\Pi}(t)$, $\Delta Q_{\Pi}(t)$, априорных знаний о строительных характеристиках здания и помещения $A_{3_{\text{зп}}}$, априорных знаниях о метеорологических характеристиках СИ $MX_{\text{СИ}}$, априорных знаниях о месте положения здания или сооружения $A_{3_{\text{зс}}}$, априорных знаниях об энергетических режимах в зависимости от сезона и метеорологических условиях $A_{3_{\text{му}}}$, результатов контрольных измерений метеорологических условий $\Psi(t)$. При этом структура алгоритмов управления для определенных типов помещений имеет следующий вид:

$$C_{\Pi}(t) = \{c_k(t), c_j(t), c_l(t)\} \\ = A_{\Pi}\{\mathbf{X}^*(t), Q_{\Pi}(t), A_{3_{\text{зп}}}, MX_{\text{СИ}}, A_{3_{\text{зс}}}, A_{3_{\text{му}}}, \Psi(t)\}$$

где $c_k(t) = A_{\text{пк}}\{\mathbf{X}^*(t), Q_{\Pi}(t), A_{3_{\text{зп}}}, MX_{\text{СИ}}, A_{3_{\text{зс}}}, A_{3_{\text{му}}}, \Psi(t)\}$

$$c_j(t) = A_{\text{пj}}\{\mathbf{X}^*(t), Q_{\Pi}(t), A_{3_{\text{зп}}}, MX_{\text{СИ}}, A_{3_{\text{зс}}}, A_{3_{\text{му}}}, \Psi(t)\}$$

$$c_l(t) = A_{\text{пл}}\{\mathbf{X}^*(t), Q_{\Pi}(t), A_{3_{\text{зп}}}, MX_{\text{СИ}}, A_{3_{\text{зс}}}, A_{3_{\text{му}}}, \Psi(t)\}$$

$A_{\text{пк}}, A_{\text{пj}}, A_{\text{пл}}$ – алгоритмы управления соответствующими средствами.

Так как изменение параметров микроклимата является инерционным процессом и способы управления также инерционные процессы с известными характеристиками, необходимо определять динамические свойства микроклимата в каждом конкретном помещении (заложить определение этих характеристик в алгоритм работы системы регулирования). Для каждого средства (способа) регулирования c_k должна быть определена зависимость $\Delta Q_{\Pi}(t) = f(c_k)$ или $\Delta T_{\Pi}(t) = f(c_k)$, $\Delta \phi_{\Pi}(t) = f(c_k)$ при определенных условиях и других влияющих факторов (внешние условия, другие способы регулирования). Для основных управляющих воздействий возможные зависимости представлены в табл. 1.

Таблица 1

Управляющее воздействие c_k	Условия	T'_{Π}	Условия	ϕ'_{Π}
$+\Delta Q_T(t)$	$Q_T \Delta t$	$+\Delta T_{\Pi}(t)$	$Q_T \Delta t$	$-\Delta \phi_{\Pi}(t)$
$+\Delta Q_3(t)$	$Q_3 \Delta t$	$+\Delta T_{\Pi}(t)$	$Q_3 \Delta t$	$-\Delta \phi_{\Pi}(t)$
$-\Delta Q_3(t)$	$Q_3 \Delta t$	$-\Delta T_{\Pi}(t)$	$Q_3 \Delta t$	$+\Delta \phi_{\Pi}(t)$
$+\Delta \phi_3(t)$	$Q_3 \Delta t$	$-\Delta T_{\Pi}(t)$	$Q_3 \Delta t$	$+\Delta \phi_{\Pi}(t)$
$\pm \Delta Q_3(t) \pm \Delta \phi_3(t)$	$T_{\Pi} < T_y$	$+\Delta T_{\Pi}(t)$	$\phi_{\Pi} < \phi_y$	$+\Delta \phi_{\Pi}(t)$
	$T_{\Pi} = T_y$	0	$\phi_{\Pi} = \phi_y$	0
	$T_{\Pi} > T_y$	$-\Delta T_{\Pi}(t)$	$\phi_{\Pi} > \phi_y$	$-\Delta \phi_{\Pi}(t)$
$\pm \Delta Q_y(t) \pm \Delta \phi_y(t)$	$T_{\Pi} < T_y$	$+\Delta T_{\Pi}(t)$	$\phi_{\Pi} < \phi_y$	$+\Delta \phi_{\Pi}(t)$
	$T_{\Pi} = T_y$	0	$\phi_{\Pi} = \phi_y$	0
	$T_{\Pi} > T_y$	$-\Delta T_{\Pi}(t)$	$\phi_{\Pi} > \phi_y$	$-\Delta \phi_{\Pi}(t)$

Состояние микроклимата в помещении определяет некоторое суммарное воздействие всех находящихся в нем носителей энергии $C = \{c_k\}$.

Формирование вектора $C = \{c_k\}$ является задачей оптимального распределения потребления энергии в процессе регулирования микроклимата. Вектор управляющих воздействий формируется с помощью множества алгоритмов регулирования микроклимата в помещении.

$$C_{j+1} = \{c_{kj+1} = a_k(X = \{x_i\}, A3 = \{X_3, X_c, X_{\Pi}\}, C_j = \{c_{kj}\})\}$$

Разработаны и реализованы базовые алгоритмы управления на этапе прототипирования интеллектуальных систем мониторинга и управления энергопотреблением в зданиях и сооружениях с предсказуемыми источниками измерений.

Интеллектуальная система мониторинга и управления энергопотреблением представляет собой комплекс программных и аппаратных средств, предназначенных для оптимизации и эффективного управления энергопотреблением в различных системах, таких как здания и промышленные предприятия. Алгоритмы создаются как программно-алгоритмическая поддержка локальных информационно-измерительных и управляющих систем на объектах офисного типа и локальных измерительно-вычислительных управляющих систем на объектах технологического типа. Макеты продемонстрировали работоспособность алгоритмов.

Интеллектуальные системы контроля и управления энергопотреблением, как правило, включают в себя датчики для непрерывного сбора информации о потреблении электроэнергии, тепла, воды и других ресурсов. Собранные данные анализируются и интерпретируются специальными алгоритмами для определения и оптимизации энергопотребления и предотвращения возможных потерь энергии. Интеллектуальные системы мониторинга и управления энергопотреблением также могут быть подключены к системам автоматизации и управления, что позволяет обеспечить оптимальное использование энергоресурсов. Параметры работы систем освещения, кондиционирования, отопления и других систем могут регулироваться и контролироваться для минимизации энергопотребления и создания комфортных условий.

Заключение. В результате проведенных исследований и анализов был разработан принцип построения программно-алгоритмического обеспечения, при котором априорные знания и текущее состояние объекта учитываются при формировании вектора управляющих воздействий. Такие системы также могут обладать возможностями анализа и прогнозирования энергопотребления, что позволяет оптимизировать режимы работы и планировать будущие энергоресурсы. Такие системы позволяют пользователям видеть фактическое потребление, отслеживать тенденции и оптимизировать потребление с точки зрения затрат и энергоэффективности.

В результате интеллектуальные системы мониторинга и управления энергопотреблением позволяют сократить затраты и ресурсы, оптимизировать процессы и повысить энергоэффективность различных систем. Применение данного подхода позволяет создавать интеллектуальные системы энергомониторинга и управления с предсказуемыми источниками измерений в зданиях и сооружениях, обеспечивающие эффективное управление энергопотреблением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А. Д., Тычков А. Ю., Чернышов Д. С. [и др.]. Интеллектуальная система программного управления многоосевой платформой для виртуальной реальности с имитацией воздействия внешней среды и обратной связью // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2 (44). С. 97–103. doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-12 EDN: NQSMUG
2. Белокопытов М. Л., Ушанев К. В. Модель интеллектуализированной системы контроля и диагностирования бортовой аппаратуры космических аппаратов на этапе их испытаний и применения // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 1(43). С. 62–69. doi: 10.21685/2307-5538-2023-1-8 EDN: SKRHSP
3. Макленков Н. И., Фролова А. И., Шнайдер В. Я. Преобразователь Температура – Напряжение на термопаре с компенсационным терморезистором // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шлядинские чтения – 2022») : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для обучающихся и молодых ученых (г. Пенза, 24–26 октября 2022 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 68–70. EDN: RWYIAO

4. Крикунова Е. В. Особенности количественного определения уровня защитных механизмов организма на общесистемном, системном и органном уровнях // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2022») : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для обучающихся и молодых ученых (г. Пенза, 24–26 октября 2022 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 86–90. EDN: BLADAF

5. Александров В. С. Разработка блока компараторов напряжений, применяемого в приборе для контроля температуры окружающей среды // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2022») : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для обучающихся и молодых ученых (г. Пенза, 24–26 октября 2022 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 114–118. EDN: KEXQYU

6. Козлов А. И., Затучный Д. А. Современные методы построения системы дистанционного зондирования для решения задач гражданской авиации // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2023. Т. 1. С. 19–22. EDN: AISRNB

7. Плотников Д. В., Володин В. Ю., Невокшанов В. Б. [и др.]. Конструкционные и физические принципы выбора датчиков теплового контроля // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2023. Т. 1. С. 52–57. EDN: IRJWQV

8. Дивеев А. И., Шмалько Е. Ю., Барабаш А. В. Полное решение задачи оптимального управления // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2023. Т. 1. С. 96–102. EDN: ZZYIUC

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Ринат Адельшаевич Керимов

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

В настоящее время некоторые государства ввели санкции против ряда российских предприятий, включая отечественных разработчиков и изготовителей средств измерений. Актуальной проблемой является обеспечения безотказной работы оборудования и безопасности производственных процессов, в условиях отсутствия зарубежных средств измерений. Важно в кратчайшие сроки подобрать российские аналоги, во избежание внештатных ситуаций, в случае неисправной работы зарубежных средств измерений. В данной статье предлагается рассмотреть виды и принципы действия преобразователей давления, так же возможные замены зарубежных преобразователей на российские аналоги.

Преобразователи давления – это аналоговые или электронные устройства, основной функцией которых является постоянное и непрерывное преобразование физического показателя давления в унифицированный выходной сигнал электрического тока [1–4]. В основном прибор используется для таких типов давления, как абсолютное или избыточное давление, давление разрежения, гидростатического давления, а также для измерения разности давлений для нейтральной и агрессивной среды [5, 6].

Принцип действия преобразователей давления основан на использовании тензорезистивного эффекта в полупроводниковом чувствительном элементе или использовании емкостного эффекта под воздействием измеряемой величины. Изменение емкости или электрического сопротивления тензорезисторов, преобразуется в электронном блоке датчика в стандартный аналоговый или цифровой сигнал.

Преобразователи давления по принципу действия подразделяются на деформационные и электрические.

По виду измерений преобразователи давления подразделяются на:

ДИ, CG, CGR, TG, TGR – преобразователи (датчики) избыточного давления;

ДД, CD, CDR – преобразователи (датчики) дифференциального давления (разности давлений);

ДА, ТА, TAR – преобразователи (датчики) абсолютного давления;

ДВ – преобразователи (датчики) вакуумметрического давления;

ДИВ – преобразователи (датчики) избыточного и вакуумметрического давления;

ДГ, L – преобразователи (датчики) гидростатического давления (уровня).

По типу выходного сигнала преобразователи давления подразделяются на аналоговые и цифровые.

По состоянию на 2022 г. в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений внесено 95 709 записи, которые включают 29 821 средство измерений отечественного производства и 19 770 средств измерений зарубежного производства с действующими сертификатами об утверждении типа. На рис. 1 представлены количественные данные по средствам измерений с действующими сертификатами об утверждении типа по странам [7, 8].

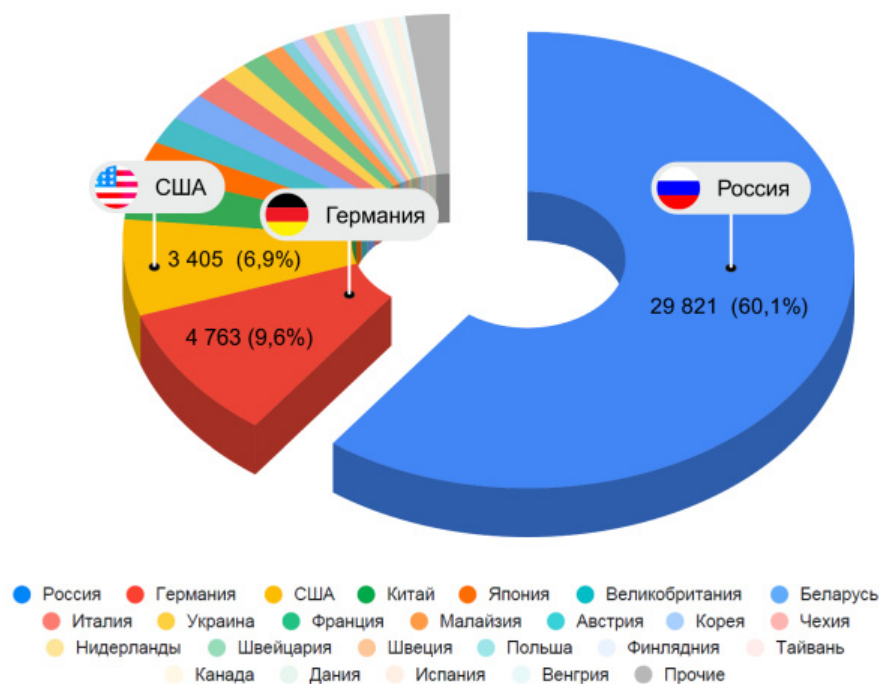


Рис.1. Средства измерений с действующими сертификатами об утверждении типа

Производители, ушедшие с российского рынка:

ADZ-nagano (Германия), WIKA (Германия), BD Sensors (Германия), Aplisens (Польша), Danfos (Дания), E+H (Германия), DRUCK (Великобритания), BOSCH Rexroth (Германия), SIMENS (Германия), TRAFAG (Швейцария), Yokogawa (Япония), Emerson –Метран (США).

Сравнительный анализ основных метрологических характеристик зарубежных производителей и отечественных аналогов, преобразователей давления представлены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование	Rosemount Inc, США	ЗАО «ЭМИС», Россия	ООО НПП «ЭЛЕМЕР», Россия
Регистрационный номер в ФИФ	14061-15	72888-18	67954-17
Нижний предел избыточ- ного давления, МПа	–0,1013	–0,1013	–0,105
Верхний предел избыточ- ного давления, МПа	137,895	70	100
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %	от $\pm 0,04$ до $\pm 1,125$	от $\pm 0,04$ до $\pm 2,5$	от $\pm 0,075$ до $\pm 2,5$
Средняя наработка на отказ, ч, не менее	200 000	220 000	160 000/270 000
Условия эксплуатации, температура окружающей среды, °С	от –60 до +85	от –60 до +85	от –60 до +70
Межповерочный интервал, лет	5	5	5

Как видно из табл. 1, отечественные аналоги не уступают по своим метрологическим характеристикам, указанных в описаниях типа средств измерений, своим зарубежным конкурентам. Приборы отечественного производства обладают высокой точностью измерений на уровне лучших мировых образцов и их ключевой особенностью, является широкий диапазон измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Печерская Е. А., Попченков Д. В., Соловьев В. А. Систематизация показателей качества высокотемпературных тонкопленочных тензорезисторов // Инновационные информационные технологии. 2012. № 1. С. 302–305.
2. Печерская Е. А. Математические модели предметной области при исследовании параметров материалов нано- и микроэлектроники // Университетское образование : сб. ст. XV Междунар. науч.-метод. конф., посвящ. 50-летию полета первого космонавта Ю. А. Гагарина. Пенза, 2011. С. 436–438.
3. Печерская Е. А., Печерская Р. М., Попченков Д. В. Методика определения оптимального технологического процесса на примере изготовления тонкопленочных тензорезисторов // Инновационные информационные технологии. 2013. № 2-2. С. 339–345.
4. Гурин С. А., Печерская Е. А., Зинченко Т. О., Фимин А. В., Николаев К. О. Конструкции и технологические режимы формирования чувствительных элементов микроэлектронных датчиков быстропеременного и статического давления // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 3 (29). С. 111–118.
5. Васильев В. А., Вергазов И. Р., Громков Н. В., Москалёв С. А. Датчики давления на основе нано- и микроэлектромеханических систем с частотным выходным сигналом // Открытое образование. 2011. № 2. С. 42–45.
6. Журина А. Е., Емельянов Н. С., Печерская Е. А., Фимин А. В. Метод «резонанс-антирезонанс» для определения электрофизических параметров пьезоэлектриков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3 (41). С. 76–82.
7. Программа импортозамещения измерительной техники на 2022–2030 годы. С. 2–3. URL: <https://import-net.vniims.ru/upload/import.pdf>
8. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry>

ВЛИЯЮЩИЕ ВЕЛИЧИНЫ РАБОЧИХ УСЛОВИЙ

Никита Игоревич Макленков

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Нормальные условия измерений – это условия, при которых влияющие величины имеют нормальные или находящиеся в пределах нормальной области значения. Нормальная область значений влияющей величины – это область значений, в пределах которой изменением результата измерений под воздействием влияющей величины можно пренебречь в соответствии с установленными нормами точности. Нормальные условия измерений задаются в нормативной документации на средство измерений. При нормальных условиях определяется основная погрешность данного средства измерения в соответствии с ГОСТ 8.395–80. ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке.

Конечной целью любого измерения является его результат – значение физической величины (ФВ), полученное путем ее измерения. Во время измерения важную роль играют условия измерения – множество влияющих величин, объясняющих состояние окружающей среды и средства измерений (СИ) [1–3]. Влияющая величина – это ФВ, не измеряемая данным СИ, но оказывающая влияние на его результаты. Влияющей величиной может быть температура, влажность окружающей среды, давление, ускорение свободного падения и т.п.

В ряде технологических процессов влияющих величин может быть множество, например, в процессе микродугового оксидирования разнородные факторы оказывают сложное взаимное влияние на параметры качества формируемых оксидных защитных покрытий, что изложено в работах [4, 5]. Одновременно с результатом измерений при необходимости приводят данные об условиях измерений. Доля погрешности измерения, которая возникает из-за изменения условий измерения, называется дополнительной погрешностью.

Рисунок 1 иллюстрирует полученный результат измерения, действием на вход средства измерений измеряемой величины оказывающих воздействие влияющих величин, на само средство измерений.

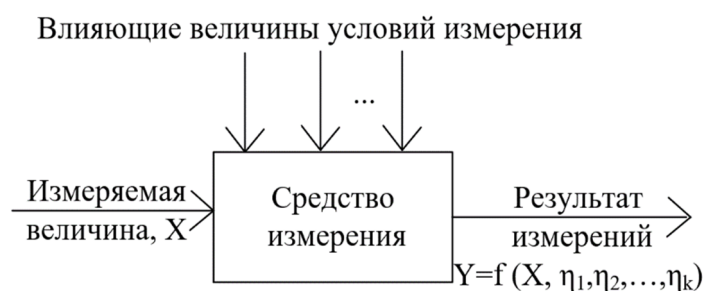


Рис. 1

В [6, с. 120–121] со ссылкой на [7, с. 23–24] представлены гистограммы распределения измеренных значений влажности, температуры и атмосферного давления, полученные по данным пятилетних метеорологических наблюдений для Московской области.

Обеспечение нормальных и рабочих условий эксплуатации средств измерений регламентируют стандарты ГОСТ Р ИСО 10012 [8] и ГОСТ Р ИСО 5725-1 [9, 10]. ГОСТ Р ИСО 10012 определяет требования к системе управления измерениями,

включая процедуры, методы и средства контроля, обеспечивающие соответствие измерительных средств установленным требованиям точности и надежности.

Чтобы повысить точность результата измерений выполненного в рабочих условиях необходимо учесть и компенсировать влияние действия влияющей (влияющих) величины рабочих условий. Например, если средство измерения работает в условиях высокой влажности, то следует результат измерения корректировать с помощью коэффициента, который учитывает влияние влажности на результат измерения. Влияние рабочих условий может быть различным для разных типов средств измерений, например, электронные приборы могут чувствительнее реагировать на электромагнитные помехи, чем механические приборы.

Для минимизации влияющих величин рабочих условий используют различные методы их компенсации, например, корректировку результатов измерений, применение защитных экранов, установку приборов на антивибрационные подставки и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Печерская Е. А. Метрологический анализ установки для измерений электрофизических свойств сегнетоэлектрических образцов с линейными размерами микрометрового диапазона // Нано- и микросистемная техника. 2007. № 12. С. 43–47.
2. Печерская Е. А., Рябов Д. В., Якушова Н. Д. Метрологические аспекты модели активного диэлектрика // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2012. № 1. С. 208–213.
3. Воробьева Е. Ю., Крайнова К. Ю., Печерская Е. А., Бибарсова А. М. Факторы, влияющие на точность биоимпедансного анализа // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. VI Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. / под ред. Л. Р. Фионовой. Пенза, 2019. С. 178–179.
4. Голубков П. Е., Печерская Е. А., Карпанин О. В., Вареник Ю. А., Александров В. С., Козлов Г. В. Метрологический анализ канала измерения импеданса гальванической ячейки в процессе микродугового оксидирования // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 4 (38). С. 41–50.
5. Голубков П. Е., Печерская Е. А., Мартынов А. В. Применение инструментов контроля качества для анализа процесса микродугового оксидирования // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : тез. докл. Третьей всерос. молодеж. науч. конф. Тамбов, 2018. С. 111–113.
6. ГОСТ 8.395–80. ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования. М. : Изд-во стандартов, 1980. 7 с.
7. Проектирование датчиков для измерения механических величин / под ред. Е. П. Осадчего. М. : Машиностроение, 1979. 480 с.
8. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/232/23233.pdf> (дата обращения: 22.05.2023).
9. ГОСТ Р ИСО 10012–2008. Менеджмент организации. Системы менеджмента измерений. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию. М. : Стандартинформ, 2009. 21 с. (дата актуализации описания: 01.01.2023).
10. ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения. М. : Госстандарт России, 2003. 26 с. (дата актуализации описания: 01.01.2023).

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Евгения Сергеевна Базаева¹, Марина Викторовна Бержинская²

^{1,2} Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Современные технологии калибровки средств измерений электрических величин позволяют повысить точность измерений и обеспечить надежность работы систем и оборудования. Это достигается благодаря использованию новых методов и технологий, таких как цифровые системы калибровки, автоматизация процесса калибровки и применение высокоточных эталонов.

Средства измерений следует калибровать с целью контроля их метрологических характеристик. Калибровка средств измерений выполняется с использованием эталонов единиц величин, прослеживаемых к государственным первичным эталонам соответствующих единиц величин, а при отсутствии соответствующих государственных первичных эталонов единиц величин – к национальным эталонам единиц величин иностранных государств [1].

В процессе калибровки лаборатория определяет фактические значения метрологических характеристик средства измерений в определенный момент времени и подтверждает их сертификатом о калибровке [4].

Внешняя калибровка осуществляется непосредственно с помощью внешнего эталона физической величины или эталонного измерительного прибора, не входящего в состав калибруемого оборудования. Если в средство измерений встроен эталон единицы физической величины, то становится возможной внутренняя калибровка прибора.

Современный уровень развития информационных и телекоммуникационных технологий позволяет создавать автоматизированные комплексы, основанные на взаимодействии измерительной и вычислительной техники. Появляется возможность проводить процедуру сравнения метрологических характеристик средств измерений в дистанционном режиме непосредственно в рабочих условиях эксплуатации.

Дистанционная калибровка позволяет снизить затраты на транспортировку и процедуру калибровки, а также существенно сокращает время, в течение которого средство измерений недоступно для работы. Кроме того, этот метод позволяет минимизировать участие персонала в метрологическом обеспечении средств измерений и автоматизировать сбор и обработку результатов калибровки [4].

Одним из преимуществ программно-аппаратного комплекса дистанционной калибровки является мобильность. В настоящее время существует большое разнообразие средств измерений электрических величин, соответствующих данному требованию. Примером могут служить источники калиброванных сигналов (калибраторы). При высокой точности генерируемых сигналов многие модели имеют малые габариты. При этом на предприятиях, применяющих средства измерений невысокой точности (например, часто используемые аналоговые вольтметры), не требуется применение высокоточных эталонов при калибровке.

Современный уровень развития технологического прогресса позволяет перейти на дистанционную калибровку средств измерений электрических величин.

Схема дистанционной калибровки представлена на рис. 1.

Сотрудник лаборатории при помощи программного обеспечения (ПО), установленного на его персональном компьютере (ПК), задает параметры генерации сигнала. Данная информация поступает на ПК, который имеет подключение

к аппаратному комплексу в лаборатории заказчика. Таким образом, происходит передача сгенерированного сигнала на калибруемое средство измерений.

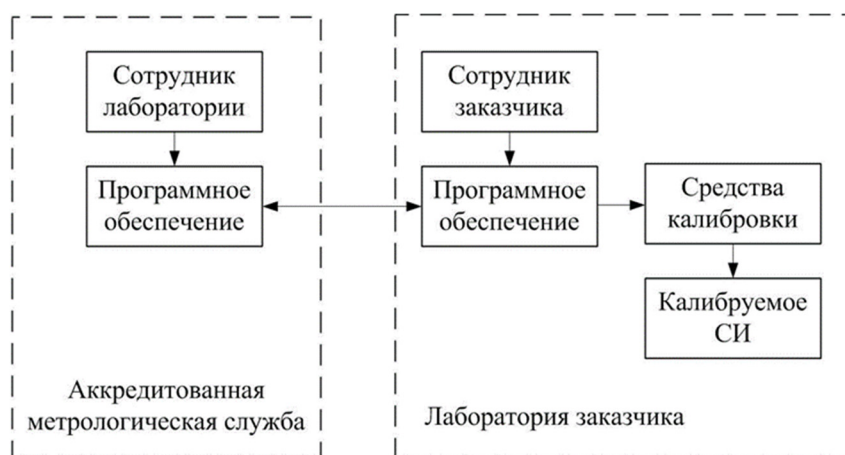


Рис. 1. Схема дистанционной калибровки

Необходимым условием при таком способе калибровки является защита ПО от стороннего вмешательства в данный процесс. Это обеспечивается отсутствием возможности у заказчика управлять процессом и средством калибровки. Без соблюдения указанного условия участие сотрудника аккредитованной лаборатории представляется бессмысленным.

Наиболее простым решением этой проблемы представляется отсутствие у калибруемого средства измерений выхода для подключения к персональному компьютеру. Это может затруднить получение показаний сотрудником аккредитованной лаборатории. Однако эта проблема легко решается либо применением веб-камеры, либо передачей показаний сотрудником заказчика.

Так как калибровка является добровольной процедурой, заказчику не имеет смысла передавать недостоверные показания, в результате которых он может получить сертификат калибровки с недостоверными поправками.

При дистанционной калибровке представляется целесообразным оформление цифрового документа, содержащего электронную подпись, с последующим хранением его в специальной базе данных [2].

Таким образом, современные технологии средств измерений электрических величин позволяют сократить время и затраты на проведение калибровки. Это особенно важно для крупных предприятий и организаций, где необходимо проводить регулярную калибровку большого количества средств измерений. Использование систем дистанционной калибровки в метрологической практике обеспечит значительное снижение финансовых затрат при сокращении времени, затрачиваемого на все операции калибровки средств измерений, и минимизации доли участия персонала в процессе калибровки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об обеспечении единства измерений : федер. закон № 102-ФЗ от 26.06.2008 // Собрание законодательства РФ. 2008. № 26. Ст. 3021.
2. Нечаев К. А., Стукач О. В. Система поддержки производства полупроводниковых приборов как часть интернета вещей // Вестник науки Сибири. 2013. № 4 (10). С. 132–135.
3. Селиванов М. Н. О понятии «калибровка средств измерений» // Измерительная техника, 1992. Вып. 7. С. 16–17.
4. Stukach O. V. Automated Remote Calibration of Electrical Measuring Tools on the Example of a Digital Multimeter NI PXI 4072 // Автоматика и программная инженерия. 2023. Вып. 1 (43). С. 15–29.

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

**Кристина Дмитриевна Мишина¹, Оксана Евгеньевна Безбородова²,
Олег Николаевич Бодин³**

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Функциональное состояние организма человека является интегративной характеристикой организма человека, которая качественно и количественно позволяет оценить возможность выполнения присущих организму функций на данный момент времени. Одним из возможных функциональных состояний организма человека является переход от состояния здоровья в состояние болезни, что приводит к снижению способности организма приспосабливаться к изменениям окружающей среды [1].

Для оценки функционального состояния организма человека используется системно-интегративный подход и индекс коморбидности. Системно-интегративный подход включает в себя анализ и оценку функциональной направленности, структурной организации и интеграции многомерных данных об организме человека. В свою очередь индекс коморбидности применяется для оценки функционального состояния организма человека при наличии хронических заболеваний и для контроля качества их лечения [3].

Для оценки и прогнозирования функционального состояния организма человека необходимы данные о факторах риска влияющих на человека и их источниках, процессах, происходящих в техносфере. Для этого необходимо создать и разработать методы и средства оценки функционального состояния окружающей среды, с помощью которых будет возможно производить оценку состояния организма человека и влияние различных факторов на это состояние.

Существуют различные методы оценки функционального состояния организма человека, которые затрагивают различные сферы жизнедеятельности людей и помогают рассматривать различные аспекты, влияющие на состояние организма человека [1, 2]. Так, например, Князева Е. С. в своей статье предлагает метод оценки функционального состояния организма студентов основываясь на параметрах variability сердечного ритма. Для оценки функционального состояния организма спасателей предлагают использование функциональных проб для определения состояния сердечно-сосудистой системы, нервной системы, дыхательной системы, оценка общей выносливости человека [3].

Для проведения экстренной оценки функционального состояния организма человека используется монопараметрический подход. Для этого лучше всего использовать показатель функционирования регуляторных систем организма, например, частота сердечных сокращений, динамика кровенаполнения подкожных сосудов, интенсивность теплового излучения кожи. Ширинский В. А. и Брускин З. З. в своей работе предлагают монопараметрический подход, который основан на переводе абсолютных показателей значений параметров в относительные в зависимости от положения каждого в вариационных рядах. Достоинством этого подхода является

то, что он может быть применен для анализа любого параметра, если есть репрезентативная выборка [4].

В работе [Дубровский В. И. в своей работе «Спортивная физиология»] рассчитывает уровень функционального состояния организма человека по формуле:

$$\Phi CO = \frac{700 - 3ЧСС - 2,5АД_{\text{сред}} - 2,7В + 0,28В_{\text{ес}}}{350 - 2,6В + 0,21Р_{\text{ост}}}, \quad (1)$$

где $В$ – возраст пациента (количество полных лет); $АД_{\text{сред}}$ – среднее артериальное давление; $ЧСС$ – частота сердечных сокращений.

Математическое моделирование является одной из наиболее предпочтительных методик определения функционального состояния организма человека, так как оно основано на математическом анализе особенностей взаимодействия тканей, органов и систем организма друг с другом и факторами риска окружающей среды [3].

Современные средства оценки функционального состояния организма человека подразделяются на медицинские информационные системы (МИС) и системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР), принцип их работы заключается в сборе и обработке медицинских данных. Примером служит единая электронная медицинская карта пациента, которая содержит анкету, жизненно важные показатели, данные о прививках, перенесенных заболеваниях и т.д. Таким образом, для принятия решения о функциональном состоянии организма человека основываются на получении данных путем лабораторных исследований [1].

Развитие медицинской информационной системы предполагает три уровня: минимальный, базовый и расширенный. Основой этой системы являются автоматизированные рабочие места с помощью которых происходит автоматизация полученных данных и документооборота [4]. Типовая структура медицинской информационной системы медицинской организации представлена на рис. 1.

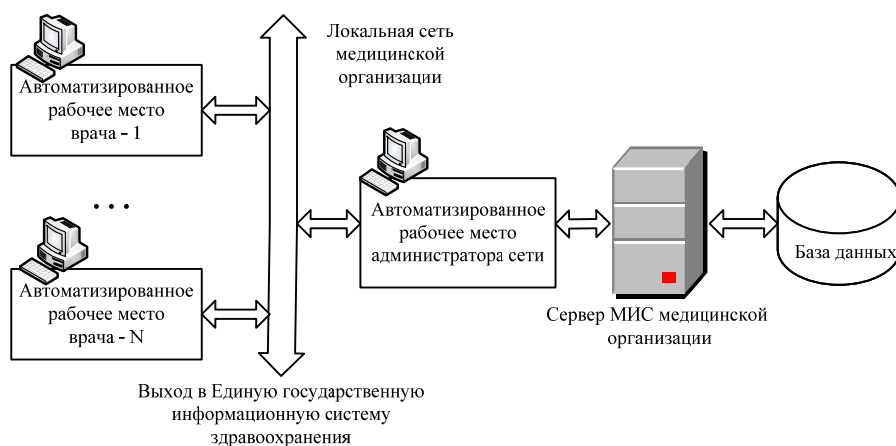


Рис. 1. Типовая структура медицинской информационной системы медицинской организации

Существует автоматизированная система дистанционного мониторинга здоровья человека (АСДМЗ), которая позволяет автоматизировать различные процессы, например, осуществление сбора показателей функционального состояния организма человека с помощью дистанционных электронных носителей. Таким образом, полученные измерительные данные позволяют сформировать базы данных, которые помогают проводить моделирование органов, тканей и систем организма [4].

Все модули МИС могут иметь связь с СППВР, которые будут помогать в процессе оказания медицинской помощи (диагностика, прогнозирование течения заболеваний, выбор лечебной тактики и др.). СППВР представляет собой специализированные медицинские базы данных, информационно-поисковые системы, системы обработки медицинских изображений, обучающие системы, различные справочники и т.д., которые не только помогают врачу в проставлении диагноза, но и показывают общую картину для построения лечения человека в целом [1].

Разработка СППВР включает переход от алгоритмов обработки и получения данных к алгоритмам автоматической формализации профессиональных знаний. Таким образом, можно составить алгоритм функционального состояния организма человека, который представлен на рис. 2.

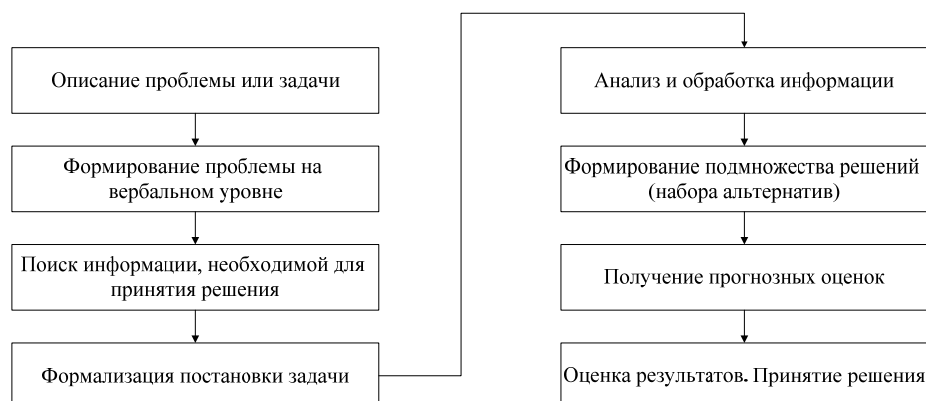


Рис. 2. Алгоритм оценки функционального состояния организма человека

Рассмотрев все это можно сделать вывод о том, что все существующие методы и средства оценки функционального состояния организма в основном основаны на оптимизации процессов медицинских организаций, уменьшение бумажной работы, автоматизацию процессов и улучшение качества работы. Но все эти системы не рассматривают факторы влияния окружающей среды и состояния экологической системы на здоровье человека. Поэтому перед научным сообществом стоит задача в разработке методов и средств для анализа функционального состояния организма человека, которые будут основываться на анализе параметров окружающей среды и их влияние на состояние здоровья человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Оценка адаптационных возможностей организма и риска заболеваний. М. : Медицина, 1997. 128 с.
2. Князева Е. С., Лялякин С. В., Мищенко Н. В. [и др.]. Оценка функционального состояния организма студентов с использованием параметров variability сердечного ритма // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 1 (127). doi: 10.23670/IRJ.2023.127.8. URL: <https://research-journal.org/archive/1-127-2023-january/10.23670/IRJ.2023.127.8> (дата обращения: 24.02.2023).
3. Леонова А. Б. Структурно-интеграционный подход к анализу функциональных состояний человека // Вестник Московского университета. Сер., Психология. 2007. № 1. С. 87–103.
4. Безбородова О. Е., Крамм М. Н., Ожигенов К. А., Ожигенова А. К., Омарбекова Б. О. Мультиагентные технологии в медицинских информационных системах : монография / под ред. проф. О. Н. Бодина. Алматы : Лантар Трейд, 2021. 314 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ РАДИОСТАНЦИЙ

Светлана Павловна Прокопчук¹, Елена Васильевна Кирюшкина²,
Борис Вульфович Цыпин³

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

В современном мире многие производственные процессы автоматизированы, что упрощает управление производством, приводит к увеличению объемов выпускаемой продукции, и облегчает труд человека, а технические задания с высокой трудоемкостью выполняются за меньший промежуток времени.

При производстве железнодорожных радиостанций каждая из них проходит технологическую проверку – упорядоченную последовательность операций, проводимую испытателем с устройством или его компонентами, целью которой является выявление заводских дефектов, или доказательство отсутствия таковых.

Радиостанция стационарная (РЛСМ) состоит из следующих блоков [1, 2]:

1) модульный блок радиостанции МБР, в состав которого входят: 2 модуля приемопередатчиков (МПП-023, МПП-160Д), системный модуль СМР и модуль питания МПВ;

2) антенно-согласующее устройство АСУ2;

3) пульт управления ПУ;

4) пульт дополнительный ПД;

5) микрофонная трубка МТТ;

6) громкоговоритель ГР;

7) кабели.

Внешний вид радиостанции РЛМС-10-30 в общей комплектации приведен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид радиостанции РЛСМ-10-30

Стационарные радиостанции (РЛСМ) устанавливаются на всех типах подвижного состава: магистральных и маневровых локомотивах, моторвагонных

поездах (электро- и дизельпоезда, рельсовые автобусы), специальном подвижном составе (мотовозы, дрезины, автомотрисы, путевые машины и др.). Они предназначены для работы в сетях поездной, станционной и ремонтно-оперативной радиосвязи на железнодорожном транспорте в качестве локомотивной радиостанции для передачи речи и данных в цифровом и аналоговом режимах [3].

Большую роль при установке заводских настроек, программировании и конфигурировании, измерении основных параметров приемной и передающей частей радиостанции для определения соответствия полученных данных техническим условиям играет автоматизация процесса технологической проверки.

Установка заводских параметров выполняется с помощью автоматизированного рабочего места «PEGAS» (АРМ «PEGAS»). Для этого происходит подключение по схеме, изображенной на рис. 2.

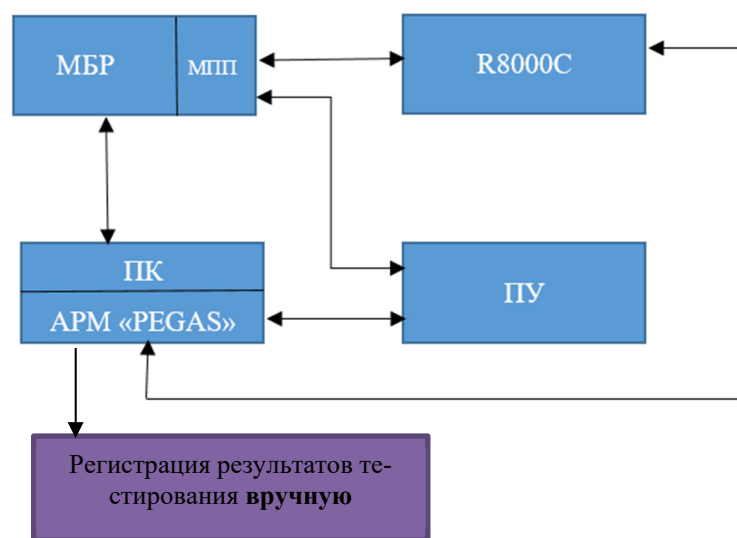


Рис. 2. Схема подключения радиостанции при ручном управлении испытаниями

Модульный блок радиостанции (МБР) подключается к пульту управления (ПУ), персональному компьютеру (ПК), с установленным на нем программным обеспечением для АРМ «PEGAS», анализатору систем связи R8000C. В свою очередь к ПК подключен пульт управления ПУ и анализатору систем связи R8000C.

С помощью АРМ «PEGAS» решаются следующие задачи:

- запись инвентарных номеров в память производится радиостанций;
- установка программного обеспечения на модули приемопередатчика (МПП) и системный модуль (СМР) радиостанции;
- присваивание уникального MAC-адреса;
- запись конфигурации модульных блоков радиостанции.

При таком подключении характеристики радиостанции выбираются с помощью ПУ, а измерения основных параметров радиостанции и внесение данных в протоколы испытаний происходит вручную.

Для усовершенствования и автоматизации процесса технологической проверки основных параметров радиостанции на соответствие техническим требованиям было разработано автоматизированное рабочее место «Комплекс измерения параметров радиостанции» (АРМ «КИПР»). Схема подключения показана на рис. 3.

МБР радиостанции подключается к ПУ, ПК, анализатору систем связи R8000C. К пульту управления и анализатору систем связи R8000C присоединяется

коммутатор КТ. Анализатор систем связи R8000C подсоединяется к ПК, с установленным на нем программным обеспечением для АРМ «PEGAS» и для АРМ «КИПР». Далее происходит тестирование, по окончании которого все полученные измерения автоматически заносятся в «Отчет проверки».

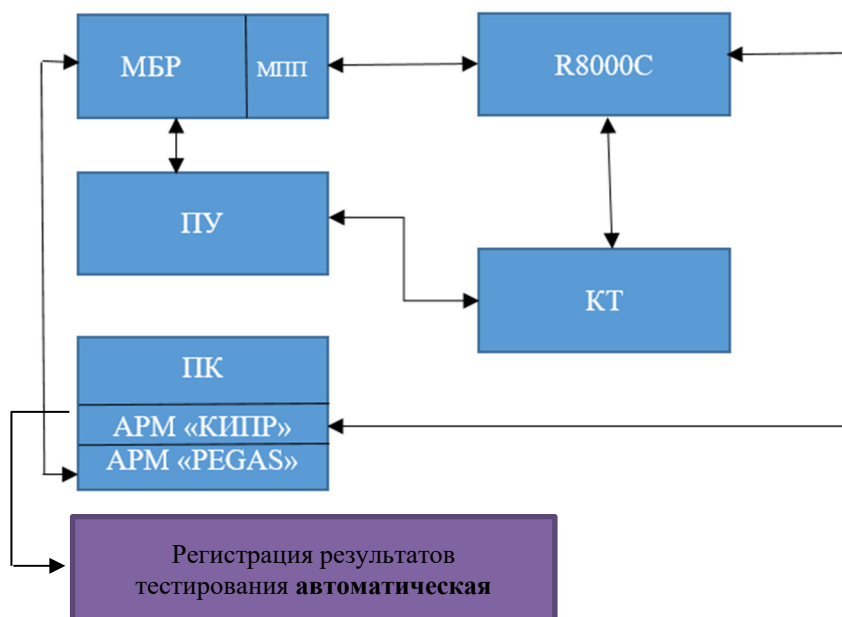


Рис. 3. Схема подключения радиостанции при автоматизированном управлении испытаниями

Таким образом, использование автоматизированных рабочих мест привносит в производство много положительных аспектов и решает ряд важных задач:

- автоматизация повседневных задач;
- ведение документации в электронном формате;
- оперативное управление базой данных (ввод сведений, их анализ, редактирование и поиск нужной информации в архиве);
- обмен сведениями между отделами внутри предприятия;
- обеспечение высокой точности при измерении технологических параметров;
- снижение временных затрат на проверку единицы продукции;
- увеличение объема выпускаемой продукции и улучшение ее качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ООО КБ «ПУЛЬСАР-ТЕЛЕКОМ». URL: <https://www.pulsar-telecom.ru/catalog>. Заглавие с экрана.
2. Радиостанция РЛСМ-10. Технические условия. ТСВР.464117.001 ТУ.
3. ГОСТ 33889–2016. Электросвязь железнодорожная. Термины и определения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139509>. Заглавие с экрана.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ СОСТОЯНИЯ ПУТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СООБЩЕНИЯ

Сергей Николаевич Ивлиев¹, Олег Владимирович Егоркин²

^{1,2}Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Важность железнодорожного сообщения в эпоху санкций, в частности в авиастроительной области, возрастает в геометрической прогрессии. При этом возрастает и нагрузка на железнодорожную систему. И чтобы не потерять в качестве - необходимо проводить комплексные меры по диагностике железнодорожных систем. Ранее диагностику таких частей железнодорожной системы как состояние рельсов, состояние контактной сети, проводили инструментальным методом. Или даже с помощью визуального осмотра, то в 21 веке, с появлением компьютерного зрения данные вопросы легли на плечи компьютерного интеллекта. Тем не менее, в работе также остаются и проверенные временем методики: предсказания выхода из строя (регламентные работы по пробегу), инструментальный метод (замеры с помощью измерительного инструмента, с целью оценки соответствия допускам).

Общая протяжённость эксплуатационной длины железнодорожных путей, по состоянию на 2018 год, составляла 122 тыс. км. При этом на разных участках железнодорожных путей разная интенсивность движения, что осложняет визуальный осмотр. Так же стоит не забывать про различные факторы которые снижают качество визуального осмотра: короткий световой день (уровень освещенности), погодные условия, усталость рабочей бригады и человеческий фактор. Но самым главным недостатком при визуальном осмотре является низкая производительность труда. Именно поэтому еще в 1955 году существовали тележки, оборудованные самописцами – фиксирующими те или иные параметры железнодорожного полотна.

На дорогах нашей сети работают два типа вагонов-путеизмерителей: системы Ляшенко и скоростные системы ЦНИИ. Проверка пути путеизмерителем Ляшенко производится со скоростью до 45 км/ч, а путеизмерителем ЦНИИ – до 100 км/ч.

Путеизмеритель Ляшенко оборудован механизмами для измерения: ширины колеи; положения рельсовых нитей по уровню; вертикальных колебаний вагона (вертикальных толчков); горизонтальных толчков; стрел изгиба в плане правой по ходу поезда рельсовой нити; просадок правой по ходу рельсовой нити. Все показания графически записываются на двух лентах: одна лента остается в вагоне для расшифровки, вторая выдается работникам дистанции пути. Путеизмерители Ляшенко не выпускаются с 1955 г., однако они еще используются для проверок пути [1].

Создание комплексов для диагностики железнодорожных путей позволяет решить множество задач: снижение трудозатрат на обслуживание, повышение точности измерений. Благодаря сети интернет такие комплексы могут мгновенно сообщить о тех или иных повреждениях или недостатках, что в дальнейшем поможет избежать различного рода катастроф. Оснащение каждого состава мини-комплексами диагностики позволит улучшить качество диагностики путем отсеивания ложных срабатываний или позволит получить информацию и о состоянии вагона, а не только железнодорожного полотна. К примеру, оснащение каждого вагона акселерометром практически не скажется на стоимости самого вагона, но позволит получить информацию, говоря бытовым языком, о тряске вагона. Анализируя подобную информацию с привязкой к геолокации вагона можно утверждать, что система

сообщала о предельных нагрузках в конкретном месте – информация подобного рода позволяет делать заключение о нарушении железнодорожного полотна в конкретном месте. Если же сработка была на длинном отрезке – то скорее всего неисправен сам вагон, к примеру: не разблокировались тормоза на одной из тележек вагона.

В настоящее время как правило используются отдельные подвижные составы для анализа группы параметров. Для повышения качества полученных данных подобные подвижные комплексы используются только в ясную погоду, что позволяет снизить количество ложных срабатываний из-за бликов или ледяных покровов. А также минимизирует риск повреждения дорогих сенсоров. Но данные требования накладывают целый ряд ограничений на эксплуатацию комплекса, что приводит к сезонности эксплуатации подобных комплексов.

Одним из примеров такого комплекса для диагностики является подвижная лаборатория ВИКС.

В настоящее время диагностические УФ-системы установлены и эксплуатируются практически во всех филиалах ОАО «РЖД». Наибольший опыт использования имеет персонал Горьковской железной дороги, где с 2005 г. проводятся УФ-обследования изоляции контактной сети как с борта ВИКС ЦЭ, так и путем пеших обходов контактной сети и тяговых подстанций. Наряду с обнаружением многочисленных дефектов подвесной фарфоровой изоляции УФ-система позволяет выявлять дефекты полимерной изоляции, опорной изоляции разрядников, разъединителей и изоляции других видов [2].

Поскольку подобные системы имеют ряд ограничений на сезонность проведения исследований, в настоящее время формируется запрос на создание более технологически правильного решения. Либо создание такой математической модели, где ложные срабатывания будут отсеиваться. Речь зашла о математической модели, так как для такого ряда анализов используется нейросеть. Она автоматизирует визуальный осмотр, позволяет исключить человеческий фактор. Но в свою очередь требует либо чистых входных данных, либо мощные фильтры для отсеивания ложных срабатываний.

Создание математической модели в свою очередь позволяет снизить трудозатраты на проведение натурального эксперимента, заменяя его компьютерной симуляцией. Таким образом проведя серию экспериментов в лабораторных условиях можно добиться низкого уровня ложных срабатываний, а потом уже приступить к серии натуральных экспериментов внедряя данную математическую модель на подвижные лабораторные комплексы.

В результате проведенного анализа удалось выявить недостатки существующих систем диагностики путей железнодорожного транспорта. Предложить иные подходы для проведения диагностики, при этом обосновав экономическую эффективность. Также в статье даны базовые знания для понимания принципов проведения диагностических мероприятий на сетях железнодорожного транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров В. И. Содержание и ремонт железнодорожного пути. М. : Транспорт, 1969. 344 с.
2. Плотников Ю. И., Федоришин Ю. М., Демидов С. В. Ультрафиолетовая диагностика изоляции контактной сети: модернизация мобильной системы // Железные дороги мира. 2009. № 5. С. 53–60.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДНОГО ФИТООБЛУЧАТЕЛЯ В ОБЛАСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ

Александр Андреевич Калабкин¹, Евгений Александрович Кузнецов²,
Сергей Николаевич Ивлиев³

^{1,2,3}Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Фотосинтез играет ключевую роль в круговороте углерода и в обеспечении пищей всего многообразия живых организмов. Он основан на способности растений и фотосинтетических микроорганизмов преобразовывать солнечную энергию в химическую энергию в виде органических молекул. Важность этого процесса делает его объектом интенсивных исследований с целью увеличения эффективности фотосинтеза, что имеет большое значение в сельском хозяйстве, биотехнологии и сохранении окружающей среды [1].

Одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность фотосинтеза, является доступность и интенсивность света. В связи с этим современные исследования в области фотосинтеза ставят перед собой задачу оптимизации и контроля освещения, особенно в условиях, когда фотосинтез проводится в контролируемых средах, таких как тепличные условия или в условиях искусственного выращивания растений. В контексте этой задачи, светодиодные светильники представляют собой перспективное решение, позволяющее точно регулировать параметры света, необходимые для оптимального фотосинтетического процесса [2]. Фитооблучатели, дополнительно оснащённые специализированными датчиками физических величин [3], могут быть интегрированы в системы автоматизации и мониторинга. Это позволяет лучше контролировать условия роста растений в реальном времени и оперативно реагировать на изменения [4].

Спектральный состав излучения светодиодных фитооблучателей представляет собой основополагающий фактор, определяющий эффективность их воздействия на растения. Он обусловлен диапазоном длин волн света, которые светодиоды излучают, и каждая длина волны в этом спектре может оказывать различное воздействие на фотосинтез и развитие растений (рис. 1). Понимание и настройка спектра света, который подается на растения, становятся ключевыми факторами в достижении оптимальной фотосинтетической активности [5].

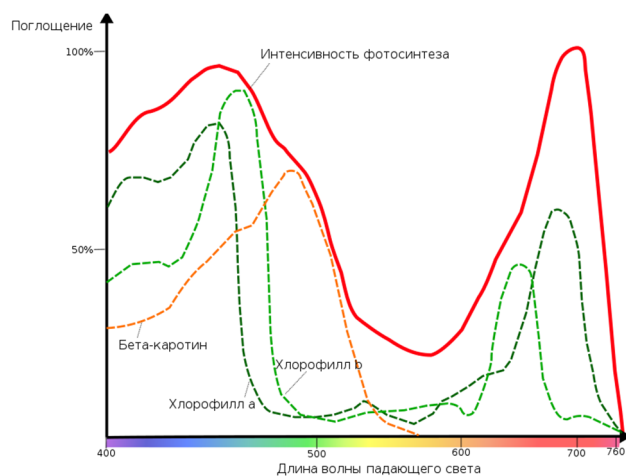


Рис. 1. Относительные спектральные кривые воздействия оптического излучения на растения

Для оценки эффективности в области фотосинтетической активной радиации был выбран светодиодный фитооблучатель, разработанный на основе COB светодиода Full Spectrum-1 [6] (рис. 2). В таблице 1 представлены светотехнические характеристики светодиодного фитооблучателя. Спектральное распределение излучения представлено на рис. 3.

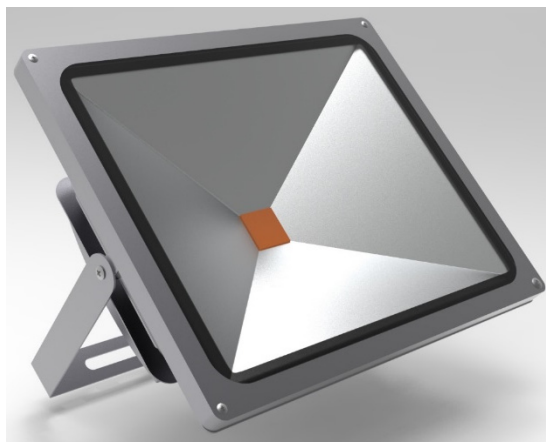


Рис. 2. Светодиодный фитооблучатель

Таблица 1

Характеристики разработанного светодиодного фитооблучателя

Параметры	Значения
Мощность, Вт	8,8
Напряжение сети, В	220
Сила тока, мА	87,3
Энергетический поток излучения, Вт	4,05
Оптический КПД, %	46
Тип КСС	Косинусная
Способ монтажа	Лира

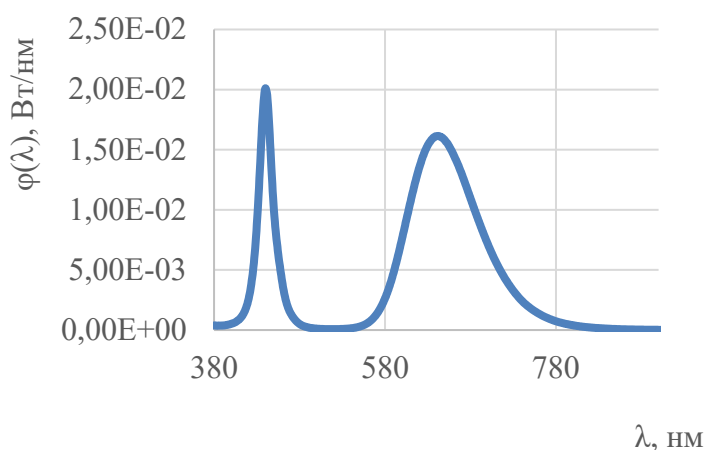


Рис. 3. Спектральная интенсивность энергетического потока излучения светодиодного фитооблучателя

Спектральное распределение излучения имеет два максимума, соответствующие 440 нм и 642 нм. Первый максимум, находящийся в синей области спектра, играет важную роль в фотосинтезе, стимулирует образование органических веществ

и управляет темпами развития растений. Синее излучение, вызывая образование ингибиторов роста в листьях, замедляет возрастание побегов и способствует формированию низкорослых растений [7].

Второй максимум, находящийся в красном диапазоне спектра, позволяет обеспечить эффективный фотосинтез и достичь высокой продуктивности растений, способствуя увеличению биомассы, ускорению прорастания, цветения и плодоношения [7]. Важно отметить, что интенсивность максимума синего излучения больше максимума красного в 1,25. Такое соотношение способствует вегетативному росту растений, быстрому приросту зеленой массы, а также замедляет процессы цветения [8].

Фотосинтетический поток фотонов фитооблучателя $F_{\text{ФАР}}$ определили по формуле 1, а эффективность в области ФАР $\eta_{\text{ФАР}}$ – по формуле 2 согласно ГОСТ Р 57671–2017 [9].

$$F_{\text{ФАР}} = \int_{400}^{700} \Phi_{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{hcN_A} d\lambda = K \int_{400}^{700} \Phi_{\lambda} \lambda d\lambda, \quad (1)$$

где $F_{\text{ФАР}}$ – фотосинтетический поток фотонов, мкмоль/с; Φ_{λ} – спектральная плотность распределения мощности излучения прибора (в области ФАР), Вт/нм; λ – длина волны, нм; $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с – постоянная Планка; $c = 3 \cdot 10^{17}$ нм/с – скорость света; $N_A = 6,022 \cdot 10^{17}$ мкмоль⁻¹ – число Авогадро; $K = 8,36 \cdot 10^{-3}$ мкмоль · нм⁻¹ · Дж⁻¹ – коэффициент;

$$\eta_{\text{ФАР}} = F_{\text{ФАР}} \cdot F_{\text{ФАР}} / P, \quad (2)$$

где $\eta_{\text{ФАР}}$ – эффективность в области ФАР, (мкмоль/с)/Вт; $F_{\text{ФАР}}$ – фотосинтетический поток фотонов, мкмоль/с; P – потребляемая мощность, Вт.

Таким образом, фотосинтетический поток фотонов фитооблучателя $F_{\text{ФАР}}$ составил 16, 2 мкмоль/с при энергетическом потоке излучения 4,05 Вт, а эффективность в области ФАР $\eta_{\text{ФАР}}$ – 1,84 (мкмоль/с)/Вт. Этот показатель подтверждает высокую способность фитооблучателя обеспечивать растения необходимой энергией для эффективной фотосинтетической активности. Для сравнения, множество светильников, оснащенных лампами типа ДНаТ, имеют фотосинтетическую эффективность на уровне 1,3 мкмоль/Дж или даже менее. Для некоторых из лучших светильников с такими лампами этот показатель может достигать 1,7 мкмоль/Дж [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стасик О. О., Киризий Д. А., Прядкина Г. А. Фотосинтез и проблемы повышения продуктивности растений // Физиология растений и генетика. 2013. № 6. С. 501–516.
2. Волков А. В., Шиков С. А., Мигачева Е. М. Разработка светильника для досвечивания растений в закрытом грунте // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2021») : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Пенза, 28–30 октября 2021 г.) / под ред. Е. А. Печерской. Пенза : Изд-во ПГУ, 2021. С. 90–93.
3. Ломтев Е. А., Михайлов П. Г., Аналиева А. У., Сазонов А. О. Многофункциональные датчики физических величин. Принципы построения, модели и конструкции // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2015. № 2 (12). С. 57–65.
4. Волков А. В., Ивлиев С. Н., Шиков С. А., Мигачева Е. М. Разработка автоматизированной системы облучения растений // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2021») : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Пенза, 28–30 октября 2021 г.) / под ред. Е. А. Печерской. Пенза : Изд-во ПГУ, 2021. С. 84–90.

5. Ракутько Е. Н., Ракутько С. А. Сравнительная оценка эффективности источников излучения по энергоёмкости фотосинтеза // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 2. С. 50–54.
6. Full Spectrum - 1 // AliExpress : сайт. URL: https://aliexpress.ru/item/32892034801.html?spm=a2g2w.cart.cart_split.2.7a534aa60ecuVi&sku_id=12000016748398907&_ga=2.76734165.1319715285.1692962545-606704142.1617361533 (дата обращения: 02.09.2023).
7. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга, Г. В. Бооса. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Группа компаний Море, 2019. 892 с.
8. Освещение для растений – российское производство // НЕОН-ЭК. Электронные компоненты : сайт. URL: <https://e-neon.ru/teh--informacija/stati-i-obzori/osveshhenie-dlja-rastenij-rossijskoe-proizvodstvo> (дата обращения: 02.09.2023).
9. ГОСТ Р 57671–2017. Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия. М. : Стандартиформ, 2017. 7 с.
10. Что такое $\mu\text{mol}/\text{j}$, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, DLI и что важнее для растения?! // Brand HUB. Магазин умных вещей : сайт. URL: <https://brandhub.ru/blog/sovety-pokupatelyam/chto-takoe-jmol-j-umol-m2-s-dli-i-chto-vazhnee-dlya-rasteniya/> (дата обращения: 02.09.2023).

АНАЛИЗ РИСКОВ ПРИ КАЛИБРОВКЕ УСТРОЙСТВ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЫХАНИЯ

Ангелина Игоревна Фролова¹, Виктор Алексеевич Баранов²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Для установления связи между параметрами измерительного сигнала и параметрами внешнего дыхания предлагается проводить калибровку устройства для дистанционного мониторинга дыхания (ДМД) методом сличения с эталоном, в качестве которого выступает стационарный спирометр [1].

В основе метода лежит проведение одновременных измерений одной и той же физической величины стационарным спирометром (эталон) и испытуемым прибором (устройством для ДМД).

Все средства измерений, применяемые при калибровке должны быть калиброваны и/или поверены перед их использованием. Аттестаты и сертификаты о калибровке средств измерений должны содержать значения действительных значений метрологических характеристик и погрешности (или неопределенности) эталона, а также заявление о соответствии эталона этим характеристикам [2].

Неотъемлемой особенностью любой деятельности является существование рисков недостижения поставленной цели. Важно своевременно выявить и определить вероятность и время их наступления, а также возможный ущерб.

Основная идея определения риска состоит в том, чтобы учитывать три характеристики:

- 1) значимость потенциального дефекта;
- 2) вероятность возникновения дефекта;
- 3) вероятность обнаружения дефекта.

Анализ риска сертификации спирометра необходимо проводить с учетом следующих факторов:

1. Предусмотренным применением и определением характеристик, относящихся к безопасности медицинского изделия. Для рассматриваемого медицинского изделия изготовитель должен документировать все случаи предусмотренного применения и обоснованно прогнозируемого неправильного применения. Изготовитель должен также идентифицировать и документировать все качественные и количественные

венные характеристики, которые могут повлиять на безопасность медицинского изделия, и при необходимости указать их предельно допустимые значения.

2. Идентификацией опасностей. Изготовитель должен составить перечень известных или прогнозируемых опасностей, связанных с рассматриваемым медицинским изделием для различных условий отказа.

3. Определением рисков для каждой опасной ситуации. Необходимо рассматривать обоснованно прогнозируемые последовательности или комбинации событий, приводящие к возникновению опасной ситуации, и регистрировать возникающие опасные ситуации.

Анализ рисков процесса проводится с помощью FMEA-анализа [3]. FMEA проводят с целью анализа и доработки конструкции технического объекта, производственного процесса, правил эксплуатации, системы технического обслуживания и ремонта технического объекта для предупреждения возникновения и ослабления тяжести возможных последствий его дефектов и для достижения требуемых характеристик безопасности, экологичности, эффективности и надежности.

Приоритетное число риска (ПЧР) – количественная оценка комплексного риска дефекта, являющаяся произведением баллов значимости, возникновения и обнаружения для данного дефекта.

После получения экспертных оценок S , O , D вычисляют приоритетное число риска ПЧР по формуле:

$$\text{ПЧР} = SOD,$$

где S – экспертно выставаемая оценка, соответствующая значимости данного дефекта по его возможным последствиям. При отсутствии последствий выставается 1 балл, при последствии, которое именуется «опасным предупреждением» выставается 10 баллов; O – экспертно выставаемая оценка, соответствующая вероятности возникновения данного дефекта. При малой вероятности выставается 1 балл, при очень высокой вероятности устанавливается 10 баллов; D – экспертно выставаемая оценка, соответствующая вероятности обнаружения дефекта. Если категории дано определение «почти наверняка», выставается 1 балл, в случае абсолютной неопределенности устанавливается 10 баллов.

Чем выше ПЧР – тем опаснее нарушение и критичнее его последствия. В первую очередь необходимо устранить или снизить риск дефектов и неполадок, у которых данное значение превышает 100–125. От 40 до 100 баллов набирают нарушения, имеющие средний уровень угрозы, а ПЧР менее 40 говорит о том, что сбой незначительный, возникает редко и может быть без проблем обнаружен. Результаты анализа рисков процесса сведены в табл. 1.

После вычисления ПЧР выполняется ранжирование рисков. Ранжирование рисков – это инструмент, используемый для сравнения и классификации рисков [4]. При ранжировании рисков определяются возможные источники опасности, осуществляется описание факторов, которые могут использоваться в качестве переменных при количественной оценке риска, а также производится расчет общей величины риска.

Ранжирование рисков:

- неправильная методика обработки результатов (ПЧР = 490);
- изделие не проверено (ПЧР = 210);
- несоответствующие условия измерений (ПЧР = 162);
- неквалифицированный пользователь (ПЧР = 90).

Анализ показал, что к наиболее значимым рискам при калибровке устройств дистанционного мониторинга дыхания относятся:

- неправильная методика обработки результатов;
- использование неуповенного средства измерений.

Результаты анализа риска

Потенциальный риск	Последствия потенциального риска	Балл S	Потенциальная причина риска	Балл O	Рекомендованные действия	Балл D	ПЧР
Неправильно оформленные документы	Измерение проходит с помощью не-поверенного прибора	10	Поломка лабораторного оборудования	3	Замена старого или приобретение нового оборудования	7	210
Искаженные результаты испытаний	Условия испытаний не соответствуют требуемым	9	Нарушение условий испытания	2	Поддержание требуемых условий испытания	9	162
	Выбрана неправильная методика обработки результатов	9	Измерение выполняется неквалифицированным пользователем	5	Смена или повышение квалификации персонала	2	90
	Неправильно записанные результаты испытаний	3	Халатность сотрудников	3	Контроль и перепроверка результатов	7	63

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролова А. И. [и др.]. Метрологическое обеспечение дистанционного мониторинга внешнего дыхания // Инжиниринг: теория и практика : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пинск, 28 апреля 2023 г.) / Министерство образования Республики Беларусь [и др.] ; редкол.: В. И. Дунай [и др.]. Пинск : ПолесГУ, 2023. С. 43–46.
2. РМГ 120–2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к выполнению калибровочных работ. М. : Стандартинформ, 2015. 23 с.
3. ГОСТ Р 51814.2–2001. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. М. : Стандартинформ, 2020. 19 с.
4. ОСТ Р 51901.12–2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. М. : Стандартинформ, 2008. 36 с.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

**Дмитрий Владиславович Мартынов¹, Оксана Евгеньевна Безбородова²,
Олег Николаевич Бодин³**

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Для проведения контроля качества окружающей среды и получения достоверной информации об уровне загрязнений объектов окружающей среды необходимо использовать надежные и эффективные методы и средства экологического контроля. Повышение эффективности контроля качества объектов окружающей среды, может быть достигнуто путем автоматизации и оптимизации технических средств контроля и самого процесса.

Классическими методами наблюдения за состоянием окружающей среды являются: контактные методы (химический анализ, инструментальный анализ), дистанционные методы (рентгеновский, оптический, инфракрасный и другие анализы) и методы математического моделирования (оптимизационные, имитационные, дескриптивные).

Анализ экологического состояния среды с помощью химических и инструментальных методов осуществляется по определенным нормативным документам и заключается в исследовании проб объектов окружающей среды (воды, воздуха и почв) [1].

Широко распространёнными методами исследования на сегодняшний день являются дистанционные, так как с развитием компьютерной техники они сделали большой шаг вперед. Их огромным преимуществом является возможность исследования объектов окружающей среды на расстоянии, что помогает проводить исследование даже в труднодоступных местах.

Дескриптивные модели применяют для описания процессов в экосистемах для определения численности популяций, параметров эпидемий и эпизоотий. При экологическом прогнозировании оптимизационные модели позволяют выбрать оптимальный режим работы объекта техносферы с точки зрения его воздействия на окружающую среду. Имитационные модели используют для иллюстрации возможных вариантов поведения элементов территориальной техносферы под воздействием факторов риска.

Математические методы нашли сейчас широкое применение и на данный момент существует множество различных математических моделей: модель круговорота воды в биосфере, модель парникового эффекта, модель ядерной зимы за счет аэрозолей и пыли и т.д. [1].

В настоящее время существует большое количество систем контроля состояния окружающей среды, которые контролируют климатические параметры и содержание химических веществ в окружающей среде. Но все эти системы являются исключительно измерительными и не предоставляют данные о воздействии объектов техносферы на окружающую среду и не осуществляют функцию обработки данных для оперативного принятия решений для обеспечения экологического благополучия человека [2].

Вместе с оценкой состояния окружающей среды по содержанию химических веществ в ней проводят исследование интегративных показателей уровней загрязнения среды. Такие показатели оцениваются на основе результатов измерительного контроля каждой среды и предельно допустимых параметров. Ниже приведены три основных интегральных показателя окружающей среды и их основные характеристики для оценки:

– индексы загрязнения атмосферы применяют для установления взаимосвязей между изменением состояния атмосферного воздуха и состоянием здоровья населения на исследуемой территории, а также зависимостей между динамикой производства и состоянием атмосферы. Для оценки используют стандартный индекс – это коэффициент для выражения концентрации примесей в единицах ПДК, рассчитывается по формуле (1):

$$K_i = \frac{C_i}{ПДК_i} \quad (1)$$

где C_i – значения максимальной или средней концентрации; $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества;

– индексы загрязнения воды – это числовые характеристики качества воды по ряду основных показателей и видам водопользования. Комплексный гидрохимический индекс загрязнения воды рассчитывается по формуле (2):

$$ИЗВ = \sum_{i=1}^T \frac{C_i / ПДК_i}{n} \quad (2)$$

где C_i – концентрация i -го компонента; $ПДК_i$ – нормативная величина для i -го компонента водного объекта; n – число показателей, используемых для расчета индекса.

– индекс загрязнения почвы. Оценивается с помощью коэффициента опасности, который показывает, во сколько раз фактические уровни содержания контролируемых веществ в почве превышают предельно допустимые, и рассчитывается по формуле (3):

$$K_o = \frac{C_i}{ПДК_i} \quad (3)$$

где C_i – концентрация i -го компонента в почве; $ПДК_i$ – установленная нормативная величина для i -го компонента в почве [2].

Шкалы для оценки значений интегральных показателей в экологическом мониторинге приведены на рис. 1.

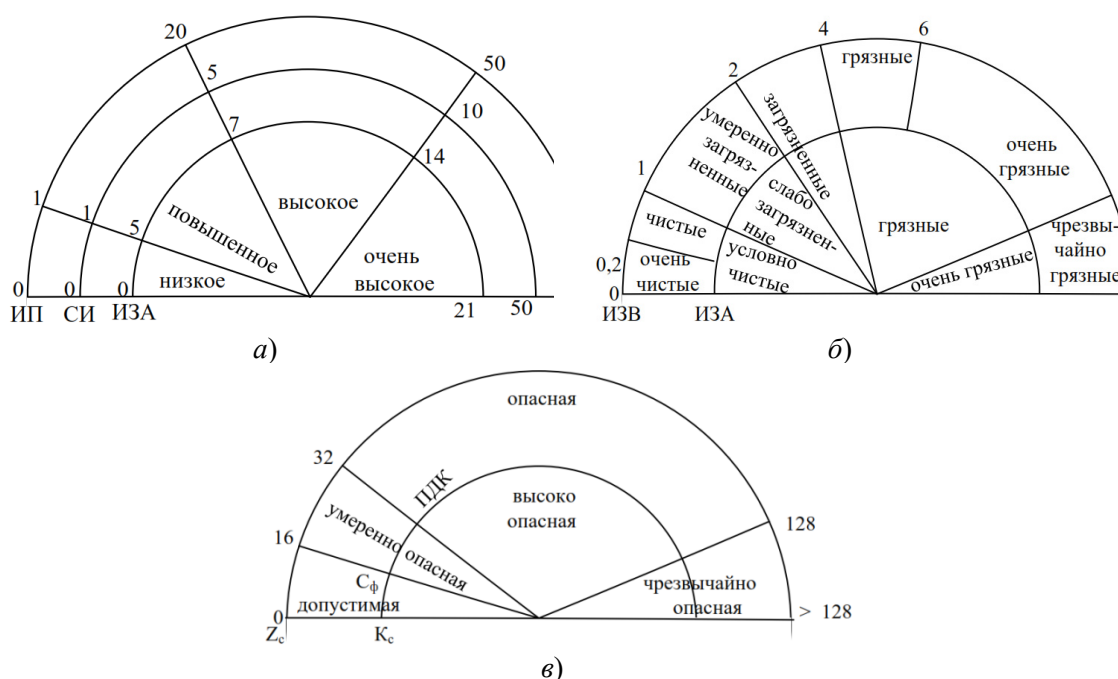


Рис. 1. Соотношение шкал интегральных показателей для отдельных сред:
а – атмосфера; б – гидросфера; в – почва

Таким образом, можно сделать вывод, что при всем многообразии и полноте представления индексов состояния каждый из них применим только к одной составляющей окружающей среды (атмосфере, гидросфере, почве).

В своей статье Ю. А. Израэль, Л. М. Филиппова и Ф. Я. Ровинский определили структуру системы мониторинга окружающей среды (рис. 2), в которой видно, что основными функциями мониторинга являются наблюдение и прогноз. Как показывает практика, именно эта система является наиболее перспективной, так как ее прогноз основывается на контроле и анализе многолетних наблюдений состояния окружающей среды [1].

В Федеральном законе «Об охране окружающей среды» закреплены структура и функции экологического мониторинга, а так же описана единая система государственного экологического мониторинга, ее цели, задачи и структура. Каждая из государственных структур, выполняя мониторинг окружающей среды, должна осуществлять поиск, сбор, хранение, обработку и анализ полученных данных [3].

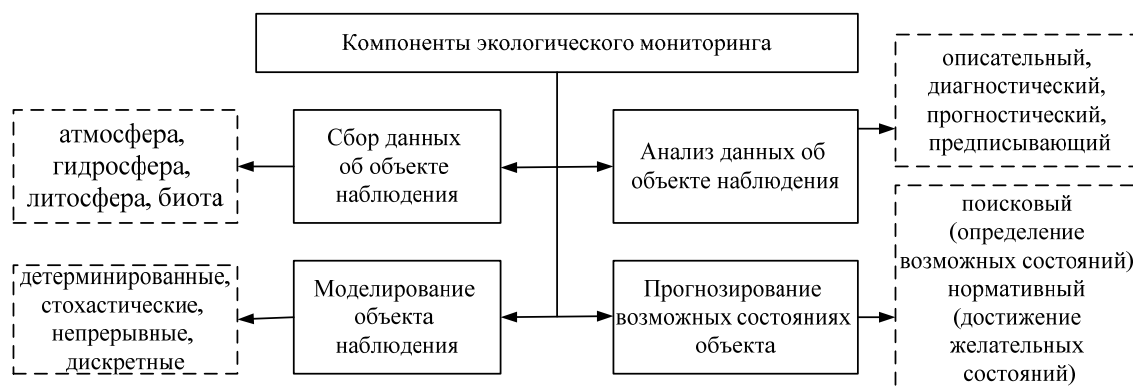


Рис. 2. Блок-схема системы мониторинга

Одной из главных систем мониторинга России является система социально-гигиенического мониторинга (Роспотребнадзор России), которая проводит свои исследования с целью обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. На основе данных социально-гигиенического мониторинга формируют федеральный информационный фонд данных о состоянии среды обитания человека, а также совокупность нормативных правовых актов и методических документов по вопросам анализа, прогноза и определения причинно-следственных связей между состоянием здоровья и воздействием факторов среды обитания человека [3, 4].

Для обеспечения экологического благополучия человека при всем многообразии структур и подсистем государственного экологического мониторинга, недостаточно только контроля над поступлением отдельных загрязняющих веществ в окружающую среду и составление на основе многолетних наблюдений прогноза. Целью экологического мониторинга должны быть комплексный контроль и оценка состояния окружающей среды в целом и управление этим состоянием для обеспечения экологического благополучия человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Форрестер Джей В. Мировая динамика / пер. с англ. А. Н. Ворошука, С. А. Пегова ; под ред. Д. М. Гвишиани, Н. Н. Моисеева ; с предисл. Д. М. Гвишиани и послесл. Н. Н. Моисеева. М. : Наука, 1978. 167 с.
2. Безбородова О. Е. Мультиагентная обработка данных мониторинга территориальной техносферы // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 20–28. doi: 10.21685/2307-55382022-3-2
3. Безбородова О. Е., Бодин О. Н., Коваль Н. С., Трофимов А. А., Григорьев А. В. Метрологический анализ измерительного канала информационно-измерительной системы для определения экологического благополучия человека // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2. С. 70–76. doi: 10.21685/23075538-2023-2-8
4. Руководящий документ РД 52.04.667–2005. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М., 2006.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Дмитрий Владимирович Новиков¹, Оксана Евгеньевна Безбородова²,
Олег Николаевич Бодин³**

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Современные производства и технологические процессы для осуществления качественной работы должны быть не только хорошо оснащены и автоматизированы, но и должны быть под постоянным контролем по параметрам, которые характеризуют его эффективность. В настоящее время повышение эффективности оценивается не только качеством производственной продукции, но и экологической эффективностью производства. Существующие средства и методы организации производства не могут в полной мере обеспечить выполнение требований экологических показателей по определению эффективности производства. Из-за этого необходимо осуществлять мониторинг проводимых процессов на производствах с целью обеспечения экологической безопасности, энергосбережения и ресурсосбережения [3].

В настоящее время многие авторы рассматривают технологические процессы или сами предприятия, как многопараметрические объекты и используют для их мониторинга математические методы. В работе [1] описано применение математического анализа для многопараметрического контроля технологических процессов, результаты которого в дальнейшем можно использовать для построения карт Шухорта или Хотеллинга.

Для повышения эффективности анализа данных используются модели, которые сравнивают целевые и фактические показатели. Таким образом, система еще на этапе проектирования проводит прогнозирование и выбор оптимальных условий осуществления технологических процессов. Опыт моделирования различных технологических процессов сформировал широкую научную базу в виде ряда подходов к моделированию, наиболее распространенным из которых является использование математических моделей, генерирующих количественные значения, которые могут быть использованы непосредственно для анализа. С развитием технологий мониторинга технологических процессов, стал вопрос связи и обмена данными между производственными системами в реальном времени.

Одним из важных показателей, учитывающих при осуществлении технологических процессов, являются параметры состояния технологического оборудования. Поэтому при разработке систем мониторинга технологических процессов именно их контролю уделяют больше внимания.

Анализ методов и средств мониторинга технологических процессов (МТП) приведен в табл. 1.

В статье [4] описана интеллектуальная система мониторинга технологических процессов, которая разработана по заказу Министерства образования и науки. Она определяет реализуемость производственного плана в текущих условиях его выполнения; определяет и контролирует ключевые параметры реализуемости производственного плана; предоставляет диспетчеру полнофункциональный инструмент контроля и управления технологическим процессом.

Автоматизированная информационная система «Диспетчер» состоит из нескольких модулей и представляет собой систему мониторинга промышленного оборудования, которая собирает технические, технологические и энергетические параметры, так же может обрабатывать данные о рабочем времени операторов. На основе собранных данных можно проводить анализ производительности оборудования, планирование производства путем контроля производственных циклов, подсчета деталей и учета брака.

Таблица 1

Анализ методов и средств мониторинга технологических процессов

Уровень МТП	Объекты МТП	Задачи МТП	Контр. параметры	Методы МТП	Результаты МТП	Мат. подход	Применяемые математические модели
Системный	Производственные предприятия, транспортные системы, информационные системы	общие задачи контроля и управления предприятием, моделирование, прогнозирование изменения состояния	многопараметрический контроль	математические, систематические, системные, модельные, графо-аналитические, векторного анализа, структурно-логические, фазовых процессов	структурные схемы, генеральные планы, схемы размещения оборудования, диаграммы потоков данных	марковские цепи, методы Колмогорова, событийный метод моделирования	имитационные, систем массового обслуживания, статические, динамические (сети Петри, карты Шухарта и Хотеллинга), нейросетевые фильтры Калмана
	Технологические процессы	измерение параметров, оценка параметров и состояния, моделирование, прогнозирование изменения параметров и состояния	монопараметрический контроль, многопараметрический контроль, контроль по интегральному показателю	математические, систематические, системные, модельные, графо-аналитические, векторного анализа, структурно-логические, фазовых процессов	схемы устройств, карты (в том числе Хотеллинга), диаграммы (в том числе Шухарта), таблицы данных	байесовский метод, передаточные функции, математическая логика, конечные автоматы, простые итерации	имитационные, автоматные, синхронные и асинхронные модели, статические модели, динамические модели (сети Петри, карты Шухарта и Хотеллинга), цифровые двойники
Макро уровень	Узлы и блоки	измерение параметров, оценка параметров и состояния, моделирование, прогнозирование изменения параметров и состояния	монопараметрический контроль, многопараметрический контроль	математические, систематические, системные, модельные, графо-аналитические, векторного анализа, структурно-логические, фазовых процессов	функциональные, принципиальные и кинематические схемы, сборочные чертежи	явные методы (экстраполяционные), неявные (интерполяционные) методы, методы логического моделирования	алгоритмические модели на основе компонентных и топологических уравнений, системы алгебраических или дифференциальных уравнений
Микро уровень	Поля величин различных происхождения	измерение параметров, оценка параметров, моделирование, прогнозирование изменения параметров	монопараметрический контроль, многопараметрический контроль	математические, модельные, фазовых пространств	функциональные, принципиальные и кинематические схемы	уравнения математической физики, метод конечных разностей, метод конечных элементов	дифференциальные уравнения в частных производных с крайними условиями

Еще одним примером автоматизированной информационной системы является система Ростехнадзора, которая была создана для автоматизации деятельности и эффективного исполнения функций Ростехнадзора за счет использования единого информационного пространства. Эта система создана с целью формирования единого информационного пространства в сфере надзора (контроля); формирование единого реестра поднадзорных предприятий; повышение качества и достоверности информации осуществлении надзора; повышение оперативности, эффективности и качества государственного надзора [5].

Industrial Internet of Things (IIoT) используется, как технологический аспект, повышения эффективности производства. Исследователи считают, что данная система поможет создать интеллектуальное производство и сможет повысить его эффективность по большинству показателей. Главная задача *IIoT* установление эффективной взаимосвязи в системе «человек-машина». Эта задача может быть осуществима путем внедрения систем мониторинга *Machine Data Collection/Machine Data Acquisition (MDC/MDA)* [2].

Принцип работы данных систем заключается в разработке мультиагентных подсистем, обеспечивающих получение подробной информации о состояниях объектов мониторинга и происходящих в них изменениях. Программные интеллектуальные агенты напрямую взаимодействуют с современным оборудованием, получая от него все необходимые данные. Такие программно-аппаратные интеллектуальные агенты собирают и обрабатывают данные о работе оборудования и производственного персонала и отправляют на сервер. В итоге лица, принимающие решения получают отчеты о работе систем и оборудования, являющиеся объективными данными для принятия управленческих решений.

Актуальность проведения исследований в области интеллектуализации информационных систем мониторинга основана на осуществляемых программах государственной поддержки направлений деятельности [2].

Таким образом, из всего выше изложенного можно сделать вывод о том, что из многообразия существующих систем мониторинга направленных на оценку эффективности работы технологического оборудования по показателям качества производства и затрат ресурсов, ни один не направлен на оценку и управление параметрами работы средозащитного оборудования и локальных очистных сооружений, то есть это оборудование не включают в технологические процессы основного производства.

Для осуществления экологической экспертизы Ростехнадзора необходимо вести государственный учет технологических процессов, оказывающих негативное влияние на окружающую среду. Но параметры воздействия технологических процессов на окружающую среду автоматически не контролируется и не регистрируется, а учитывается только в «ручном режиме».

Проведенный анализ систем мониторинга технологических процессов показывает, что они проводят мониторинг по технологическим, экономическим и организационно-управленческим группам параметров. Но ни одна из них не проводит мониторинг по параметрам, необходимым для оценки экологической эффективности производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валеев С. Г., Клячкин В. Н. Особенности построения регрессионных моделей при многомерном контроле технологического процесса // Радиоэлектроника, информатика, управление. 2002. № 1 (7). С. 48–51.
2. Безбородова О. Е. Интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система контроля состояния территориальной техносферы // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 2. С. 21–28. doi: 10.21685/2307-5538-2022-2-3
3. Мустафаев Г. А., Мустафаева Д. Г., Мустафаев М. Г. Методологические аспекты организации и управления производственным процессом на предприятии // Организатор производства. 2014. № 1 (60). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-aspekty-organizatsii-i-upravleniya-proizvodstvennym-protsessom-na-predpriyatii> (дата обращения: 11.04.2023).

4. Соломенцев Ю. М. [и др.]. Моделирование и оптимизация технологических процессов механической обработки. Тольятти : ОНИКС, 2013. 457 с.

5. Безбородова О. Е. Оценка точности прогнозирования состояния территориальной техносферы в информационно-измерительной и управляющей системе обеспечения экологического благополучия человека // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 4. С. 43–50. doi: 10.21685/2307-5538-2022-4-6

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АКВАМОДУЛЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СПИРУЛИНЫ

**Сергей Владимирович Голобоков¹, Татьяна Юрьевна Бростилова²,
Павел Андреевич Тимченко³, Алексей Валерьевич Дудин⁴**

^{1,4}Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

^{2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

На кафедре ЭиЭ ПГУ разработан аквамодуль для выращивания водорослей по интенсивным технологиям. Использован аквариум горизонтального типа, с прозрачными стенками. Емкость монтируется в классе на подоконнике на солнечной стороне здания. На боковых стенках емкости устанавливаются фитосветильники на основе светодиодных матриц. Подогрев раствора выполняется плоскими нагревателями с встроенными датчиками температуры. В емкости размещены датчики концентрации растворов. В нижней части емкости имеется инженерный отсек, в котором установлено оборудование микроклимата. Аквамодуль подключается к сети 220 В. Внешний вид аквамодуля представлен на рис. 1.



Рис. 1. Конструкция аквамодуля

Аквамодуль работает в автономном режиме, круглосуточно. Для выполнения требований по энергоэффективности аквамодуль оснащен адаптивной системой управления (АСУ). АСУ должна проводить измерение параметров, характеризующих условия питательной среды, выполнять анализ режимов работы, выдавать управляющие воздействия на исполнительные элементы. АСУ построена на контроллере «Mega-2560» [3], выдает световую и звуковую сигнализацию режимов работы, а также выполняет функции противоаварийной автоматики. Структурная схема системы управления представлена на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема системы управления

Основой системы управления является контроллер MEGA-2560, который ведет управление и контроль различными элементами. Плата имеет 54 цифровых входа/выходов, 14 из которых могут использоваться как выходы ШИМ. Контроллер имеет 16 аналоговых входов, 4 последовательных порта UART, кварцевый генератор 16 МГц. Обмен данными выполняется через USB коннектор, разъем ICSP, на корпусе установлен разъем питания, и кнопка перезагрузки. Платформа «Arduino Mega-2560» совместима со всеми платами расширения. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB или подать питание при помощи адаптера AC/DC, или от аккумуляторной батареи. В свободном доступе имеется программное обеспечение для подключения широкой гаммы устройств и реализации набора функций.

В систему управления входят датчики, исполнительные устройства, индикатор и клавиатура. Информационное обеспечение системы выполнено датчиками температуры, уровня воды, датчик pH и оптический датчик мутности раствора. Для управления микроклиматом используются: выключатели, реле включения светильников, реле включения насоса, реле включения компрессора, реле включения нагревателя. Для удобства контроля и наглядности присутствуют контрольные светодиоды и индикатор. Связь с контроллером и задание режимов работы выполняется с помощью 16-ти кнопочной клавиатуры.

Оптический датчик позволяет измерять прозрачность раствора, при достижении порогового уровня контроллер выдает информацию о концентрации готового продукта в растворе [4]. Датчик минимального уровня позволяет отслеживать уровень питательной среды. Датчик pH измеряет водородный показатель, процессор контролирует кислотность раствора, выдает рекомендации и отражает значение на индикаторе. Для обеспечения безопасности, при открывании дверцы отсека автоматически отключается электропитание.

Важнейшим фактором для интенсификации биологических процессов выращивания водорослей является освещение внутреннего пространства аквамодуля. Необходимо выполнить комплекс требований по уровню освещенности, спектральному составу и времени включения [5]. Фитосветильники выполняют функцию подсветки в пасмурную погоду. Система стабилизации поддерживает температуру раствора в заданных пределах.

Система управления обеспечивает следующие режимы работы:

1. Удержание параметров среды аквамодуля в режиме «День».
2. Удержание параметров среды аквамодуля в режиме «Ночь».
3. Индикация и сигнализация об отклонении параметров.
4. Отключение систем в случае обнаружения аварии.
5. Режим настройки и технического обслуживания

Высокие требования к АСУ обусловлены метрологическими характеристиками датчиков, алгоритмом обработки информации и выдачи управляющих воздействий. Аварийный режим возникает при снижении уровня жидкости ниже минимального значения, выходе температуры раствора за допустимые значения, повышении концентрации водорослей выше пороговых значений, нарушении концентрации питательных растворов, отключение питания. При повторной подаче питания система восстанавливает режим. Выход параметров за допустимые пределы снижает эффективность производства и при критических отклонениях может привести к гибели аквакультур.

Лабораторный образец аквамодуля способен обеспечить комфортные условия для выращивания водоросли «Спирулины». Техническое решение АСУ на основе контроллера «Arduino Mega» обеспечивает высокую скорость обработки данных и поддержание параметров водной среды в оптимальном режиме. В свою очередь это гарантирует высокую производительность и возможность выращивания водорослей вне зависимости от погодных условий и параметров окружающей среды. Аквамодуль может быть использован в научных лабораториях для исследования и выращивания различных аквакультур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирилин В. Ю., Медведева С. Н., Сотников М. В., Голобоков С. В. Лабораторный модуль для выращивания спирулины // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса : сб. тр. XV юбилейной междунар. науч.-практ. конф., 2–4 марта 2022 г. Ростов н/Д. : Изд-во ДГТУ, 2022. С. 122–126.
2. Техническое описание контроллера Arduino Mega 2560. URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardMega2560> (дата обращения: 01.09.2023).
3. Простой контроллер для аквариума на АРДУИНО. URL: <https://www.aquakmv.com/site/2019/08/16/prostoj-kontroller-dlya-akvariuma-na-b> (дата обращения: 10.08.2023).
4. Гнатченко Л. Г., Писаревская И. И., Ивантаю А. П. Опыт интенсивного выращивания микроводоросли Спирулина (Spirulina) // Труды Южного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии. 1994. Т. 40. С. 106–110.

СИСТЕМА ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**Сергей Владимирович Голобоков¹, Светлана Николаевна Медведева²,
Андрей Витальевич Клейменов³, Владимир Константинович Безуглов⁴**

^{1,2,3,4}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Одна из главных мировых проблем сегодняшнего дня – это загрязнение пресной воды. Оно происходит различными путями: в результате неправильной эксплуатации скважин и водоемов, намеренных сбросов отходов в воду, промышленных выбросов и стоков, смывом удобрений с полей и т.д. Помимо нехватки пресной воды, есть другая актуальная проблема – качество пресной воды. Его ухудшение напрямую зависит от повышенного уровня загрязнения окружающей среды. В большинстве случаев причиной этому становится человеческая деятельность и перенаселение.

Для экономии расхода пресной воды можно предложить экологически безопасное и эффективное мероприятие – внедрение системы оборотного водоснабжения.

Оборотное водоснабжение – это такая система трубопроводов, насосов, фильтров, емкостей и отстойников. Отработанная вода проходит очистку и снова возвращается к потребителю [3]. Рассмотрим применение такой системы на примере молочного комбината «МолКом». Схема оборотного водоснабжения представлена на рисунке 1 [3].

Значительная доля потребления воды приходится на станцию приемки молока. После каждой поездки цистерны промываются чистой водой с моющими растворами и ошпариваются паром. Стерильность транспортной тары гарантирует высокое качество сырья, особенно при высокой температуре окружающего воздуха. Участок мойки расходует 126 тысяч м³ воды. Сточные воды содержат значительную концентрацию жиров, моющих растворов, и механических частиц – крошки от роторных щеток.

Для снижения потребления чистой воды предлагается в состав участка мойки цистерн включить станцию оборотного водоснабжения фирмы «HYDRIG», г Москва. Станция предназначена для широкого спектра промышленных предприятий, построена по модульному принципу. Типовая комплектация включает следующие модули: модуль механической очистки; модуль аэрации; модуль минеральной очистки; модуль биологической очистки; резервуар чистой воды; резервуар отстойник; резервуар приемник; модуль шламоудаления; модуль илоудаления.

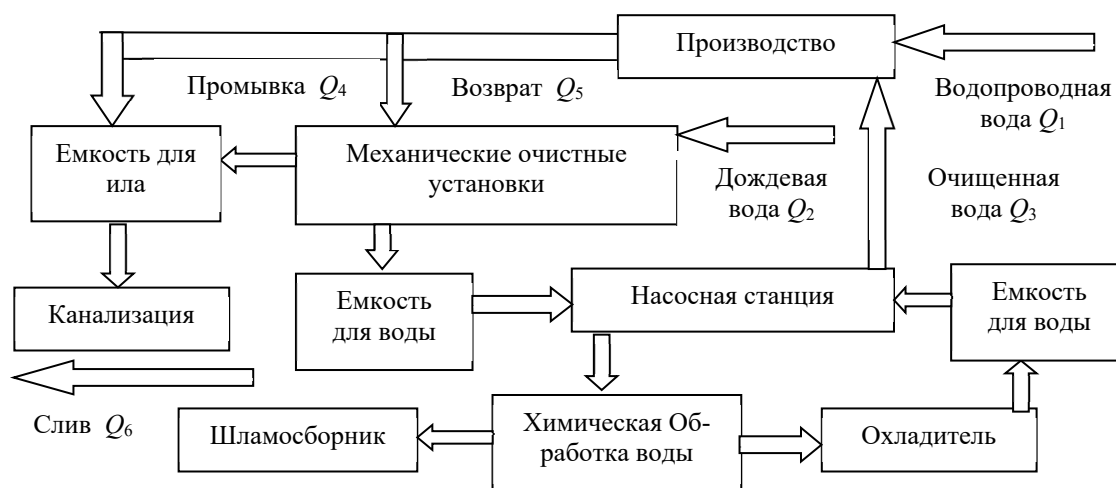


Рис. 1. Схема оборотного водоснабжения

Для потребностей производства молочного комбината по производительности очистки выбираем станцию MF 30-4 230 В [4]. Её принцип действия таков: очищаемая вода поступает на вращающуюся сетку барабана, где задерживаются частицы грязи – шлам. Затем они перемещаются к шламприемнику, а очищенная вода проходит дальше для дальнейшего использования.

Для удаления масел и жиров животного и растительного происхождения, тяжелых металлов, поверхностно активных веществ, взвешенных веществ, а также для разделения иловой смеси после биологической очистки применим напорный флотатор серии FL-30 [5]. Он предназначен для очистки воды при концентрации взвешенных частиц 100 мг/л. При этом в процессе обработки стока добавляются химические реагенты: щелочь, кислота, коагулянт, флокулянт.

Сточные воды, обработанные реагентами, по трубопроводу – флокулятору подаются в объемный бак - флотатор. Туда же подается водовоздушная смесь, которая получена в аппарате, равномерно растворяющем под давлением воздух в воде, – в сатураторе. Растворенный воздух во флотаторе выделяется в виде пузырьков, к которым прилипают взвешенные частицы грязи. Эта масса всплывает и удаляется механизмами для сгребания флотопены в шламосборник.

Годовой объем воды, потребляемой предприятием равен 350,3 тыс м³. Участок мойки автоцистерн потребляет 126 тыс м³. Станция химводоочистки выполняет очистку 30 м³ стоков в час. При работе в 1,5 смены время включенного состояния 4380 часов, объем очистки 131 тысяча м³. Это перекрывает годовой расход с запасом в 10 %. Данные расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Итоговые данные по внедрению проекта

Показатель	Размер- ность	Значение до	Значение после	Прим
Годовой объем воды, потребляемой предприятием	Тыс. м ³	350,3	240,3	
Годовой объем воды, потребляемой участком мойки автоцистерн	Тыс. м ³	126	16	
Объем воды после очистки на станции	Тыс. м ³	0	131	
Объем очищенной воды, поступающей на мойку	Тыс. м ³	0	110	
Относительное снижение расхода чистой воды	%	0	32	
Объем дождевых стоков в канализации	Тыс. м ³	5,3	0	
Абсолютная экономия затрат на чистую воду	Тыс. руб.	0	3661	
Стоимость проекта	Тыс. руб.	0	4680	
Срок окупаемости проекта	Месяц		15	

Для самоочистки и удаления мелкодисперсных частиц станция водоочистки сбрасывает в канализацию от 10 до 30 % от перерабатываемого объема. Будем считать, что станция сбрасывает 5 м³ в час, значит, пополняет резервуар очищенной воды в объеме 25 м³. В смену в резервуаре накапливается 200, а в сутки – 300 м³. Объем очищенной воды, которая повторно используется 110 тысяч м³ воды в год, это составит почти 30 % от годового объема потребления.

Тариф на воду составляет 27,9 руб./м³ с НДС, тариф на канализацию – 15,35 руб./м³ с НДС. Экономия денежных средств на воду и канализацию:

$$C_1 = 110000 \times (17,9 + 15,35) = 3661 \text{ тыс. руб. в год}$$

Цена комплекта оборудования оборотного водоснабжения компании «HYDRIG» MF 30-4 230 В – 1680 тыс. руб. и FL-30 – 2400 тыс. руб. Общая сумма затрат с учетом транспортировки и пусконаладочных работ составит 4680 тыс. руб.

В составе предприятия имеется ряд структурных подразделений, в которых также используется вода в больших объемах. Прежде всего это технологический расход в основном производстве и котельной. В коммунальном хозяйстве, в столовой, в зеленом хозяйстве также можно использовать воду повторно - для полива растений, работы унитазов, мойки машин, влажной уборки помещений.

Внедрение системы оборотного водоснабжения позволит предприятию потреблять из водопроводной сети меньший объем воды с сохранением объемов производства. После очистки в станции вода поступает на мойку повторно и так крутится несколько раз. Примерно 30 % от объема сбрасывается в канализацию, чтобы обеспечить ее промывку. Анализ расходования воды показывает, что на технологические цели тратится примерно 86 % общегодового объема. Часть воды забирает котельная на выработку пара, часть используется в технологии производства молочных продуктов.

Часть идет на санитарно-гигиенические нужды – уборку помещений, периодическую мойку оборудования, душевые кабины, туалетные комнаты. Финишную мойку выполняют водопроводной чистой водой, которая опять поступает в контур.

Снижение потребления водопроводной воды из городских магистралей составляет 32 % от годового объема. Система оборотного водоснабжения позволяет выполнять утилизацию дождевых стоков в объеме 5,3 тыс. м³ в год. Срок окупаемости проекта

составляет 15 месяцев, при этом экономия денежных средств составляет примерно 3,74 млн руб. во все последующие годы.

Предложенные мероприятия экономии воды обеспечивают выполнение требований федерального закона в части экономии водных ресурсов в размере не менее 15 % за пять лет эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайтек : сайт. URL: <https://hightech.fm/2021/07/07/clear-water> (дата обращения: 06.09.2023).
2. Цели в области устойчивого развития : сайт. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/water-and-sanitation/> (дата обращения: 06.09.2023).
3. Строительная компания Интех : сайт. URL: <https://www.air-ventilation.ru/Oborotnoe-vodosnabzhenie.htm> (дата обращения: 06.09.2023).
4. Барабанные микрофильтры MF HYDRIG // Водкомпроект : сайт. URL: <https://vodpro.ru/barabannye-mikrofiltry-mf-hydrig/> (дата обращения: 07.09.2023).
5. Напорные флотаторы FL HYDRIG // Водкомпроект : сайт. URL: <https://vodpro.ru/napornye-flotatory-fl-hydrig/> (дата обращения: 07.09.2023).

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ШОВНЫХ ТРУБ ИЗ СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Дмитрий Евгеньевич Бижанов¹, Алексей Валерьевич Прыщак², Виктор Михайлович Батрашов³

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение. Перед предприятиями химической и нефтегазовой промышленности стоит проблема малого срока службы трубопроводов что вызвано их работой в химически агрессивных средах (щелочные и кислые среды, в том числе среды с повышенным содержанием галогенидов, сероводорода) в широком диапазоне температур и давления и приводит к издержкам, связанным с необходимостью остановки производства для замены вышедших из строя труб. Эти издержки можно сократить, увеличив коррозионную стойкость труб, подвергающихся интенсивному химическому воздействию. Для решения этой задачи был разработан композиционный материал, названный слоистым металлическим материалом (СММ) с внутренним протектором (ВП) [1].

Архитектура СММ с ВП и принцип повышения коррозионной стойкости. Принципиальная схема архитектуры СММ с ВП представлена на рис. 1.

Строение материала подразумевает 4 слоя сталеи с различными электрохимическими потенциалами (ЭП):

- 1) слой нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т (2 миллиметра);
- 2) слой углеродистой стали 09Г2С (2 миллиметра);
- 3) слой нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т (2 миллиметра);
- 4) слой углеродистой стали 09Г2С (оставшаяся толщина материала).

Наружный слой 1, выполненный из стали с положительным электрохимическим потенциалом (например, 12Х18Н10Т) и не подверженный поверхностной коррозии, непосредственно контактирует с агрессивной средой. В связи с неизбежным наличием в металле вредных примесей и поверхностных микрповреждений, в поверхностном слое происходит питтинговая коррозия, при которой в металле с разной скоростью развиваются каналы диаметром в среднем порядка 300-350 микрон – питтинги. В общем случае, несмотря на небольшой диаметр, питтинги существенно ускоряют разрушение металла, выступая концентраторами механических напряжений.

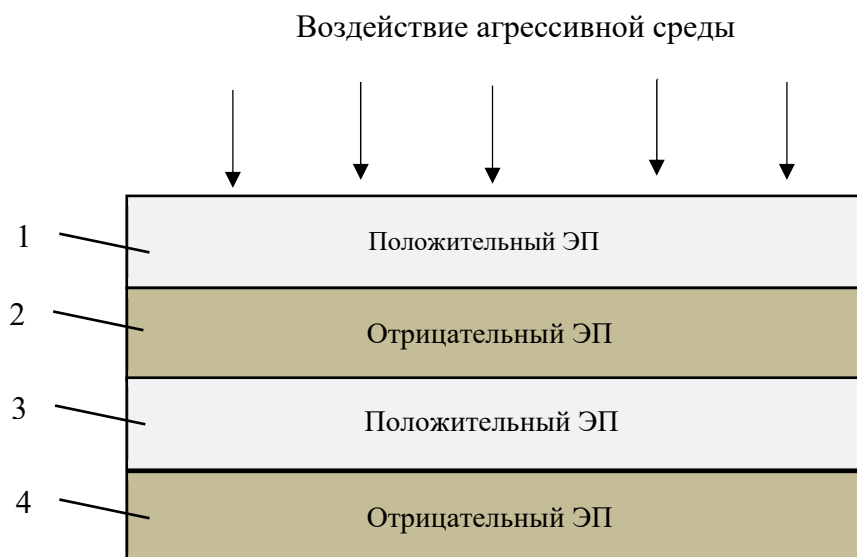


Рис. 1. Принципиальная схема архитектуры СММ с ВП

Как только один из питтингов достигает промежуточного слоя 2, в качестве которого используется сталь с отрицательным электрохимическим потенциалом (например, 09Г2С), процесс коррозии трансформируется: рост новых питтингов прекращается в определенном радиусе от питтинга, достигшего промежуточного слоя, и в этом слое начинается поверхностная коррозия. В нормальных условиях поверхностная коррозия намного быстрее питтинговой, но при этом зависит от площади контакта металла с агрессивной средой, так что разрушение промежуточного слоя происходит крайне медленно из-за малого диаметра отдельного питтинга. При этом, разрушение внутреннего слоя 3 начинается только после образования в промежуточном слое линзы из прокорродированного металла диаметром в несколько сантиметров. Таким образом, промежуточный (находящийся внутри материала) слой препятствует разрушению как внешнего, так и внутреннего слоев, из-за чего и называется внутренним протектором.

Наличие внутреннего слоя 4 не является обязательным, так как он не участвует в повышении коррозионной стойкости материала, в связи с чем он включается в систему при необходимости повышения механической прочности конструкции и может быть изготовлен из сравнительно дешевой конструкционной стали без потери полезных свойств композита.

Архитектура рассмотрена на примере материала с одним ВП, при этом испытания показали увеличение коррозионной стойкости такого материала по сравнению с нержавеющей сталью такой же общей толщины в 6 раз. Возможно также применение нескольких ВП (двух и более, при этом необходимо дублировать слои 2 и 3 до получения нужного числа ВП), что повышает коррозионную стойкость уже в 23 раза. При этом, в связи с особенностями материала, обозначенными при описании слоя 4, по сравнению с листом из гомогенной нержавеющей стали с толщиной от 15 миллиметров СММ с ВП имеет более низкую себестоимость с учетом всех затрат на изготовление композита за счет экономии дорогостоящих материалов.

В зависимости от того, с каких сторон конструкция (в частности, труба) подвергается воздействию агрессивной среды, защита из СММ с ВП может быть наружной, внутренней или двусторонней. В последнем случае после 4 слоя структура повторяется в обратном порядке.

Получение шовных труб из СММ с ВП

Наиболее рациональным способом получения СММ с ВП показала себя сварка взрывом [2], при которой соединение разных слоев происходит сближения соединяемых

металлов на расстояние образования межатомных связей под действием давления, созданного взрывом. Схема получения сваркой взрывом листа, выступающего заготовкой для шовной трубы, представлена на рис. 2.

Схема получения листов из СММ с ВП сваркой взрывом для производства шовных труб представлена на рис. 2.

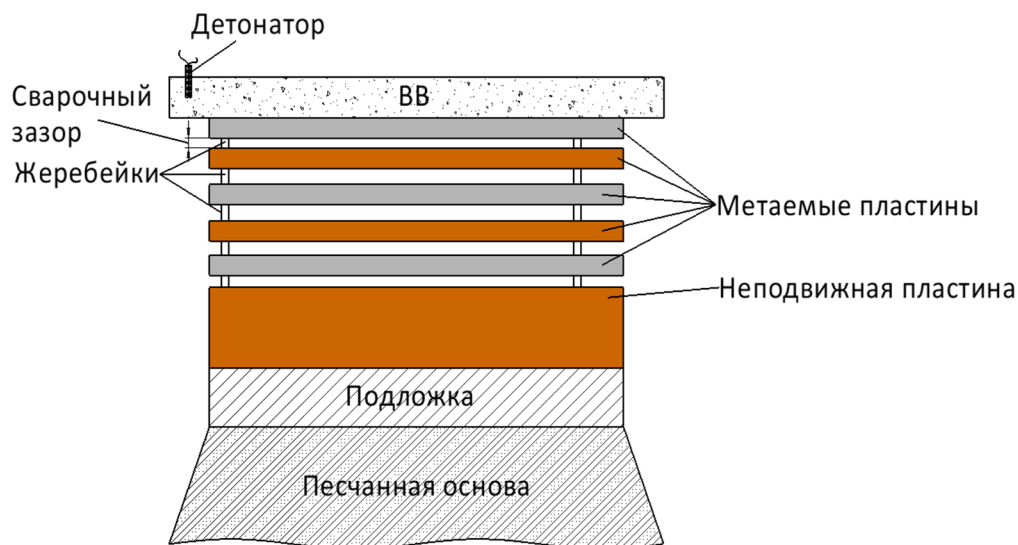


Рис. 2. Схема сварки взрывом листов

Детонатор расположен в углу пакета взрывчатого вещества, так как детонационная волна достигает необходимых для получения надежного соединения характеристик спустя некоторое время после начала детонации, так что область материала в непосредственной близости от детонатора будет уступать по характеристикам основному материалу, в связи с чем рационально размещать детонатор у края заготовки и обрезать ее края для гарантии равных свойств всего материала [3]. Из-за крайнего расположения детонатора подвижные пластины соударяются под углом, который для получения качественного соединения рассчитывается определенным образом. Металлические жеребейки во время соударения пластин деформируются, становясь частью соединения и не оказывая значительного влияния на его качество.

Сразу после проведения сварки взрывом заготовку подвергают отжигу при температуре порядка 960 °С для устранения наклепа, возникающего в металле под действием взрыва и лишаящего металл пластичности, необходимой для дальнейшей механической обработки.

После отжига листовая заготовка выправляется, вальцуется, и стык заготовки сваривается дуговой сваркой по технологии, разработанной с учетом свойств используемых материалов [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rozen A. E., Reformatskaya I. I., Kuznetsov E. V., Los' I. S., Abramov P. I., Denisov I. V., Khorin A. V., Rozen A. A. Corrosion resistance of multilayer explociad metals // Explosive production of new materials: science, technology, business, and innovations. X International Symposium on Explosive Production of New Materials : collection of abstracts. Moscow, 2010. С. 63.
2. Лось И. С., Розен А. Е., Первухин Л. Б. [и др.]. Опыт разработки и сертификации многослойных коррозионно-стойких материалов с «Протекторной питтинг-защитой» // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2014. № 3 (31). С. 117–130.
3. Розен А. Е., Корнеев А. Е., Хорин А. В. [и др.]. Структурообразование межслойных границ слоистого металлического материала при сварке взрывом // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2020. № 11 (246). С. 41–45.

4. Бижанов Д. Е., Хорин А. В. Производство бесшовных и шовных труб из коррозионно-стойких материалов с внутренним протектором для атомной, химической и нефтегазодобывающей промышленности // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте : сб. ст. XI Всерос. науч.-техн. конф. молодых ученых и студентов с междунар. участием. Пенза, 2023. С. 57–62.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Владимир Сергеевич Александров¹, Андрей Stanisлавович Бычков²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Датчики температуры находят широкое применение в составе измерительных каналов информационно-измерительных и управляющих систем различного назначения [1 – 5]. В данной работе представлено устройство, которое предназначено для контроля температуры в диапазоне от минус 10 °С до +120 °С.

Разработанное устройство (рис. 1) включает в себя два функциональных узла: ФУ1 и ФУ2.

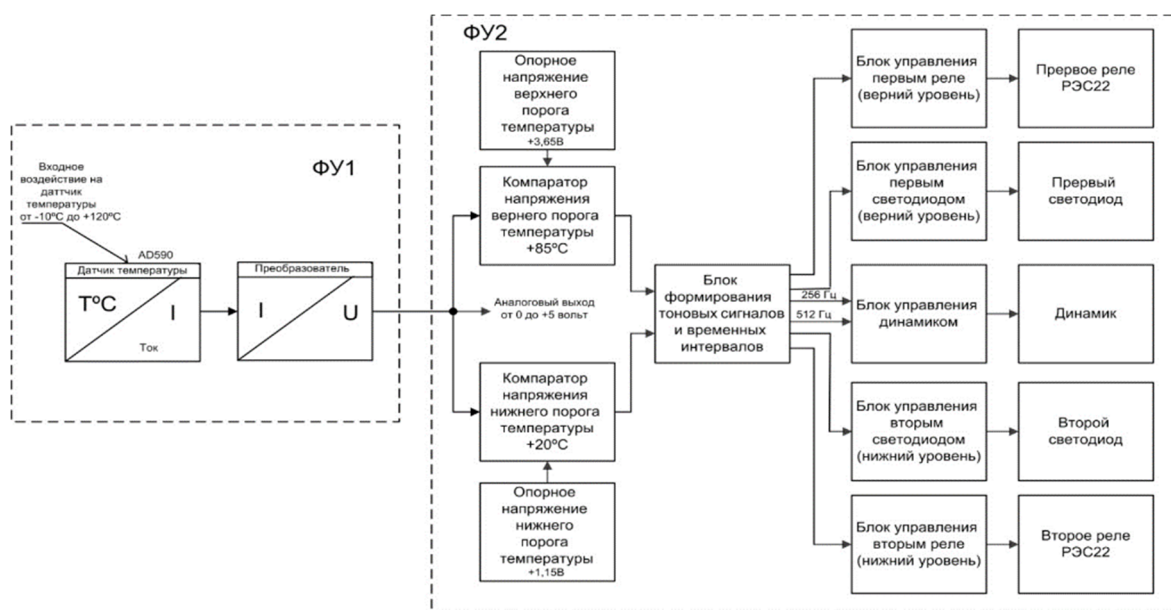


Рис. 1. Структурная схема устройства

Измерительный функциональный узел ФУ1 содержит датчик и усилитель на основе операционного усилителя. Функциональное назначение ФУ1 – преобразование температуры окружающей среды в аналогичное напряжение заданного диапазона.

Измеряемая температура контролируемой среды (от –10 °С до +120 °С) преобразуется датчиком на основе ИС AD590 в ток, который является входным для усилителя на основе двух операционных усилителей (К140УД7) – преобразователя входного тока в напряжение. Для заданного диапазона измеряемых температур это напряжение линейно соответствует значению температуры и находится в пределах 0 В до +5 В.

Напряжение выходного сигнала с ФУ 1 подается в узел ФУ2 на входы двух компараторов на основе ИС LM311. Первый компаратор сравнивает это напряжение с напряжением верхнего порога +85 °С. При этом опорное напряжение +3,65 В формируется

настраиваемым резистивным делителем. Питание компаратора и формирователя опорного напряжения обеспечивается от дополнительного стабилизатора напряжения +10 В на ИС КА78L10 от внешнего источника питания +15 В.

Второй компаратор сравнивает входное напряжение с напряжением нижнего порога, соответствующего температуре +20 °С. В данном случае опорное напряжение формируется аналогично, как и для первого компаратора и равно +1,15 В.

Предусмотрено два режима реагирования устройства на выход измеряемой температуры за пределы верхней или нижней границ.

Так в случае превышения измеряемой температуры порога +85 °С, уровень фронта сигнала с выхода первого компаратора (около +10 В) инициирует выработку сигналов и команды управления блоком формирования тоновых сигналов и временных интервалов. При этом на блок управления первым светодиодом поступает повторяющийся сигнал мигания с периодом 3,2 с, и одновременно поступает сигнал включения на блок управления первым реле, а на блок управления динамиком подается прерывистый сигнал тона частотой 256 Гц с периодом следования звуковых сигналов 2 с.

В случае понижения температуры ниже значения порога +20 °С, положительный фронт сигнала управления с выхода второго компаратора становится управляющим для выработки светового и звукового сигналов, соответствующих заданному условию понижения порогового значения. Сигнал управления поступает на блок управления вторым светодиодом, который начинает светиться, и аналогично поступает непрерывный тоновый сигнал на блок управления динамиком частотой 512 Гц, пока действительно заданное условие по температуре. Спустя 2 с с момента появления сигнала высокого уровня со второго компаратора и до его окончания поступает сигнал включения на блок управления вторым реле РЭС22. При соответствии температуры заданному диапазону от +20 °С до +85 °С сигналы на управление светодиодами, реле и динамиком не вырабатываются.

Временные диаграммы (представлены на рис. 2) иллюстрируют работу устройства и его реакции на изменения температуры в диапазоне от минус 10 °С до +120 °С.

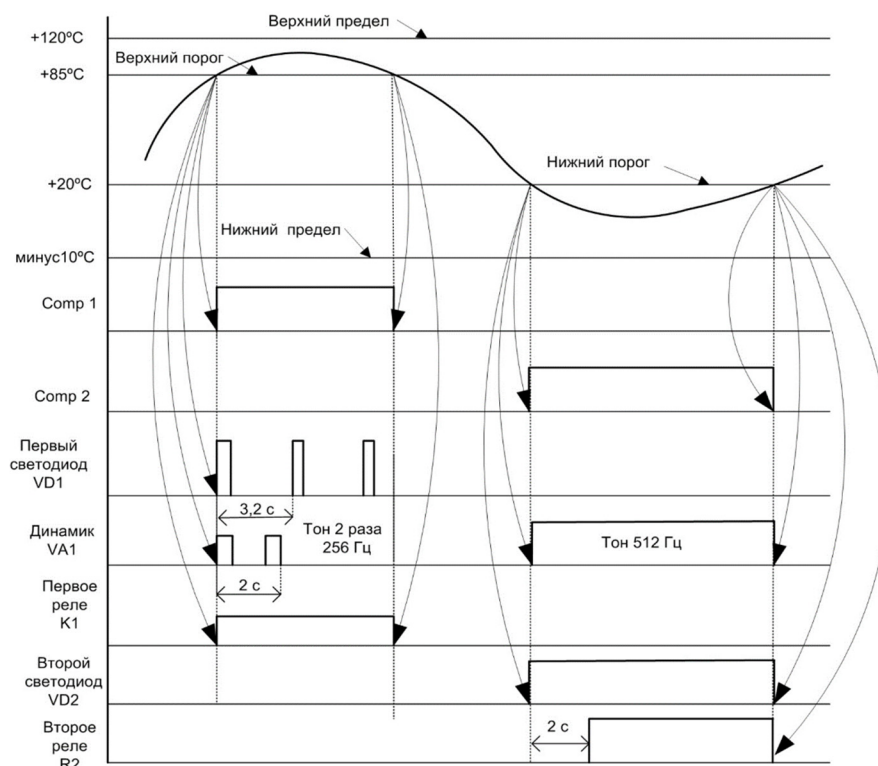


Рис. 2. Временные диаграммы работы устройства

При превышении заданного верхнего порога температуры $+85^{\circ}\text{C}$ возникает активный сигнал логической «1» на выходе первого компаратора Comp1. С момента переднего фронта этого сигнала начинает мигать первый светодиод VD1 с периодом 3,2 с. В это же время динамик VA начинает подавать 2 коротких тоновых сигнала частотой 256 Гц.

Одновременно включается первое реле K1. С переходом сигнала с первого компаратора в «0» прекращаются световые и звуковые сигналы, а реле выключается. При переходе измеряемой температуры ниже значения нижнего порога $+20^{\circ}\text{C}$ возникает сигнал верхнего уровня логической «1» на выходе второго компаратора Comp 2.

Начинает гудеть динамик VA с частотой 512 Гц, и зажигается второй светодиод на время длительности сигнала с компаратора, т.е. до момента возвращения температуры в диапазон от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+85^{\circ}\text{C}$. При этом спустя 2 с с момента появления сигнала с этого компаратора включается второе реле K2 и выключается при возвращении температуры в рабочий диапазон от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+85^{\circ}\text{C}$.

Разработанное устройство целесообразно применять при измерении и контроле температуры окружающей среды технологических процессов, например, в процессе микродугового оксидирования [6, 7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pecherskaya E. A., Golubkov P. E., Fimin A. V., Zinchenko T. O., Pechersky A. V., Shepeleva J. V. Intelligent system for active dielectrics parameters research // *Procedia Computer Science*. 2018. Vol. 132. P. 1163–1170.
2. Ryabov D. V., Pecherskaya E. A., Shepeleva J. V., Pecherskaya R. M. Automated method of measuring the temperature dependences of the dielectric parameters of ferroelectrics with second kind phase transition // *Journal of Physics: Conference Series*. 2014. Vol. 541, № 1. P. 012012.
3. Печерская Е. А., Попченков Д. В., Соловьев В. А. Систематизация показателей качества высокотемпературных тонкопленочных тензорезисторов // *Инновационные информационные технологии*. 2012. № 1. С. 302–305.
4. Artamonov D. V., Golubkov P. E., Pecherskaya E. A., Shepeleva Y. V., Martynov A. V., Zinchenko T. O. Methods of applying the reliability theory for the analysis of micro-arc oxidation process // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1124 (8). P. 081014.
5. Баранов В. А., Печерская Е. А., Сафронов М. И., Тимохина О. А. Информационно-измерительная система для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19 // *Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль*. 2021. № 1 (35). С. 85–92.
6. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В., Козлов Г. В., Печерский А. В. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий // *Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль*. 2019. № 2 (28). С. 99–107.
7. Голубков П. Е., Мартынов А. В., Печерская Е. А. Методы измерения температуры в процессе микродугового оксидирования // *Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. Пенза, 2018. С. 245–248.*

ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

**Антон Владимирович Волков¹, Михаил Васильевич Абрамов²,
Максим Сергеевич Тертычный³**

^{1,2,3}Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

В современных реалиях рынок светотехнических изделий представлен изделиями различного качества: от надлежащего, до очень низкого. Для того, чтобы новым фирмам

оставаться конкурентноспособными, им приходится выводить на рынок светотехнические изделия с параметрами, превосходящими параметры ламп других производителей. Некоторые производители не уделяют должного внимания определению светотехнических параметров своих изделий, завышая их, чтобы создать больший спрос на свою продукцию и сохранять сбалансированную стоимость. Данное исследование направлено на определение реальных параметров ламп и сравнение их с заявленными производителем. В ходе исследования измерялись такие характеристики, как коэффициент пульсаций, коррелированная цветовая температура, общий индекс цветопередачи, потребляемая мощность, световой поток.

Приближённый световой поток исследуемых источников света рассчитывался по формуле для массива углов с равномерным шагом измерения:

$$\Phi = 2\pi\Delta\gamma\left(\frac{I_0\sin\gamma_0 + I_m\sin\gamma_m}{2} + \sum_{j=1}^{m-1} I_j\sin\gamma_j\right), \#(1)$$

где I_j – измеренные значения силы света, кд; γ_j – соответствующие значения меридиональных углов, рад; $\Delta\gamma = \frac{\gamma_m - \gamma_0}{m}$ – шаг измерений, рад.

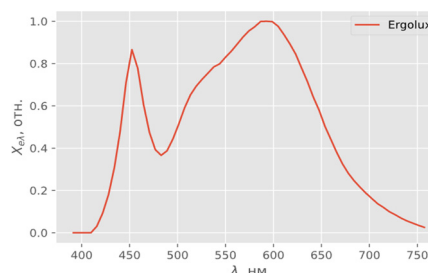
Индекс цветопередачи рассчитывался по методике рекомендованной МКО. Для этого при помощи спектроколориметра ТКА ВД/02 и ПО «Спектрофотометр вер.3» был получен файл с данными спектрального распределения энергии в относительных единицах. После этого, при помощи полученных данных и кривых сложения МКО 1931 на ходились координаты цвета испытуемого источника в системе XYZ и координаты цветности этого источника, дальше полученные координаты в системе xu переводились в систему uv .

По методу Робертсона рассчитывалась коррелированная цветовая температура объекта исследования. Для полученной температуры производился расчёт спектра стандартного источника излучения, в данном случае было использовано абсолютно чёрное тело. Для этого использовалось уравнение Макса Планка в диапазоне длин волн от 380 до 780 нм. После были рассчитаны координаты цветности в системе uv аналогичными расчётами, что и для испытуемого источника. Далее для каждого из восьми контрольных образцов принятых МКО рассчитывались координаты цветности в системе uv и преобразовывались в координаты равноконтрастного цветового пространства 1964 г. Производились расчёты цветового различия для каждого образца и частных индексов цветопередачи. Общий индекс цветопередачи R_a находился отношением суммы частных индексов цветопередачи к их количеству. Коэффициент пульсации был записан из показаний люксметра-пульсметра «ТКА»ПКМ(08).

Таблица 1

Характеристики ламп

Производитель	Ergolux	
Модель	LED-A60P-15W-E27-4K	
	Характеристики	
	Заявленные	Экспериментальные
Мощность, Вт	15	6,6511
КЦТ, К	4500	4065,98
Ra	80+	85,71
Коэф. пульсаций, %	<5	17,4
Световой поток, лм	1425	703,3



Производитель	Philips	
Модель	7W LED bulb	
	Характеристики	
	Заявленные	Экспериментальные
Мощность, Вт	7	7,65
КЦТ, К	6500	6002,796
Ra	80	85,91
Козф. пульсаций, %	<5	2,3
Световой поток, лм	720	887,2

Производитель	Gauss	
Модель	Зеркальная лампа R63	
	Характеристики	
	Заявленные	Экспериментальные
Мощность, Вт	4	3,1808
КЦТ, К	4100	4241,57
Ra	92	76,33
Козф. пульсаций, %	<5	3,5
Световой поток, лм	360	207,4

Производитель	General Lighting Systems	
Модель	GLDEN-G45F-8-E27-2700	
	Характеристики	
	Заявленные	Экспериментальные
Мощность, Вт	8	6,554
КЦТ, К	2700	3032,17
Ra	80	76,68
Козф. пульсаций, %	<5	0,7
Световой поток, лм	680	504,6

После измерения и расчета основных характеристик можно заключить, что измеренные данные в допустимых пределах соответствуют заявленным производителем для лампы Philips.

Лампа General Lighting System на 8 Вт имеет индекс цветопередачи меньше заявленного, её коррелированная цветовая температура на 300 К больше, коэффициент пульсаций на 4,3 % меньше номинального значения, мощность на 18 %, а световой поток на 26 %, меньше указанного на упаковке.

Рассматривая лампу фирмы Gauss, можно заметить, что значения цветовой температуры, коэффициента пульсаций и мощности в большей степени соответствуют заявленным значениям, индекс цветопередачи сильно ниже заявленного производителем, световой поток данной лампы не указывается производителем ни на сайте, ни на коробке лампы, вследствие чего было произведено сравнение по этому параметру с лампами других производителей, эквивалентными по мощности. В среднем световой поток лампы такой мощности и коррелированной цветовой температуры составляет 360 лм, из чего можно заключить, что данный светотехнический параметр рассматриваемой лампы значительно ниже значения этого же параметра для аналогичных ламп.

Самой низкокачественной лампой из исследованной выборки оказалась лампа Ergolux, при заявленной мощности в 15 Вт экспериментальная составила 6,65 Вт, световой поток также, вследствие заниженной мощности сильно отличается от указанного на коробке (703 против 1425 лм). Коэффициент пульсаций сильно превышает заявленные 5 %. Индекс цветопередачи соответствует заданному значению, а коррелированная цветовая температура на 500 К ниже заявленной.

Подводя итоги проведенного исследования, можно заключить, что лампы известных светотехнических брендов в достаточной степени соответствуют приводимым производителем характеристикам. Рассмотренная лампа Gauss оказалась довольно противоречивой, производитель позиционировал данную лампу, как лампу с улучшенной цветопередачей, при этом данный показатель оказался одним из самых низких среди рассмотренных ламп. Самым недобросовестным производителем оказался Ergolux: значения светового потока и мощности, указанные на коробке, в два раза выше полученных экспериментально, коэффициент пульсаций в 3 раза выше заявленного. Данная подборка ламп служит наглядным примером существующей неоднородности совпадения действительных значений светотехнических величин с теми, что заявлены производителем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прытков С. В. Основы светотехники и колориметрии : учеб. пособие. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2018. 117 с.
2. Светодиодные лампы Philips. URL: <https://www.shop.philips.ru/svet/lampy/svetodiодные.html> (дата обращения: 28.08.2023).
3. General Lighting Systems. Лампа GLDEN-G45F-8-230-E27-2700. URL: <https://general-lamp.su/katalog-lampa-glден-g45f-8-230-e27-2700/?ysclid=l7dlqzdawg509467951> (дата обращения: 28.08.2023).
4. Светодиодные лампы – led лампочки от производственной компании Gauss. URL: <https://gauss.ru/catalog/products/svetodiодные-lampy/> (дата обращения: 28.08.2023).
5. Светодиодная лампа Ergolux LED-A60-15W-E27-4K // Ergolux : офиц. сайт. URL: <https://ergolux.ru/catalog/svetodiодные-lampy/promo/ergolux-led-a60-15w-e27-4k/> (дата обращения: 28.08.2023).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕР ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА Т-КРИТЕРИЯ ВИЛКОКСОНА

Антон Владимирович Волков¹, Анастасия Витальевна Марченко²

^{1,2}Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Введение. Для обеспечения надежности и стабильности систем используются различные меры, такие как резервное копирование данных, мониторинг производительности и управление ресурсами [1–3]. Для оценки эффективности влияния данных мер на работоспособность ИС использовался статистический анализ Т-критерий Вилкоксона. Целью данной статьи является оценка эффективности мер по обеспечению работоспособности ИС с использованием статистического анализа Т-критерия Вилкоксона.

Оценка эффективности резервного копирования данных. Одной из важных мер по обеспечению работоспособности ИС является резервное копирование данных. Для проверки его эффективности были собраны данные о времени восстановления системы после сбоя до и после внедрения новой системы резервного копирования. Существуют

специализированные инструменты для мониторинга резервных копий. При проведении оценки эффективности использовался инструмент Veeam Backup & Replication.

Для проведения статистического анализа Т-критерия Вилкоксона, были получены результаты к двум выборкам данных: времени восстановления до внедрения новой системы и времени восстановления после внедрения новой системы [4].

Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты эффективности показателей резервного копирования

Инцидент № п/п	Время восстановления до (мин)	Время восстановления после (мин)
Серверный сбой	60	45
Вирусное заражение	75	50
Потеря данных	55	40
Отказ жесткого диска	70	55
Сетевой сбой	65	48
Недоступность приложения	80	60
Ошибка обновления ПО	50	38
Перегрузка сервера	68	50
Проблемы с базой данных	72	58

Результаты двухвыборочного t-теста с одинаковыми дисперсиями показали следующие результаты: значение t-статистики (4.1) превышает критическое значение (1.7) для одностороннего теста, а также критическое значение (2.1) для двухстороннего теста на заданном уровне значимости. На основе результатов анализа можно сделать вывод о статистической значимости различий между средними значениями выборок Переменной 1 (П1) (Время восстановления до) и Переменной 2 (П2) (Время восстановления после). Это свидетельствует о том, что новая система резервного копирования действительно повысила работоспособность системы.

Оценка эффективности мониторинга. Для оценки эффективности мониторинга производительности ИС был проведен анализ данных о времени реакции на инциденты до и после внедрения новой системы мониторинга. Для проведения оценки эффективности мониторинга использовался инструмент Zabbix. системами. Результаты мониторинга представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты эффективности показателей мониторинга

Инцидент № п/п	Время восстановления до (мин)	Время восстановления после (мин)
Серверный сбой	10	8
Вирусное заражение	12	9
Потеря данных	15	10
Отказ жесткого диска	11	7
Сетевой сбой	13	13
Недоступность приложения	9	8
Ошибка обновления ПО	10	9
Перегрузка сервера	20	15
Проблемы с базой данных	12	10

Результаты двухвыборочного t-теста с одинаковыми дисперсиями показали следующие результаты: значение t-статистики (1.8) не превышает критическое значение (1.7) для одностороннего теста, но оно близко к нему.

На основе результатов анализа, можно сделать вывод, что существует статистически значимое различие между средними значениями выборок П1 и П2 на заданном уровне значимости 0.05, новая система мониторинга производительности, предположительно, оказала положительное воздействие на время реакции, на инциденты, повышая тем самым работоспособность системы.

Оценка эффективности управления ресурсами. Для оценки эффективности управления ресурсами проведено сравнение, использования ресурсов процессорного времени и памяти до и после внедрения новых методов управления ресурсами [5]. Для проведения оценки эффективности управления ресурсами использовался инструмент Zabbix [6]. Результаты показателей управления ресурсами приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Результаты эффективности показателей управления ресурсами процессорного времени

Информационная система	Процессорное время до (сек)	Процессорное время после (сек)
ФИС ТП	150	140
СЭД	220	180
МИС	180	190
АИС САО	200	160
ГИС "Единое окно Минсельхоза"	250	200
ФГИС ТП	160	140
ГИС "Энергоэффективность"	240	190
ГИС ГМП	210	200
ГИС "Реформа ЖКХ"	190	160

Результаты двухвыборочного t-теста с одинаковыми дисперсиями показали следующие результаты: значение t-статистики (1.9) превышает критическое значение (1.7) для одностороннего теста, и это также близко к критическому значению для двухстороннего теста (2.1).

Таблица 4

Результаты эффективности показателей управления ресурсами памяти

Информационная система	Память до (МБ)	Память после (МБ)
ФИС ТП	900	750
СЭД	1200	1100
МИС	800	680
АИС САО	1100	900
ГИС "Единое окно Минсельхоза"	1400	1200
ФГИС ТП	850	845
ГИС "Энергоэффективность"	1250	1140
ГИС ГМП	1050	890
ГИС "Реформа ЖКХ"	950	950

Результаты двухвыборочного t-теста с одинаковыми дисперсиями показали следующие результаты управления ресурсами памяти: значение t-статистики (1.3) не превышает критического значения (1.7) для одностороннего теста, и оно также близко к критическому значению для двухстороннего теста (2.1).

На основе результатов анализа, нет статистически значимых различий между средними значениями выборок П1 и П2 как в первом, так и во втором анализе на заданном уровне значимости 0.05. Это может означать, что в данном случае эффективность управления ресурсами ИС не претерпела значительных изменений после внедрения новых методов.

Заключение. Использование статистического анализа Т-критерий Вилкоксона, позволил оценить эффективность мер по обеспечению работоспособности ИС в администрации Плодопитомнического с. п. Анализ показал, что меры, связанные с ИБ, привели к статистически значимому улучшению в работоспособности системы. В случае управления ресурсами, результаты анализа также показали положительные изменения, хотя статистическая значимость не всегда достигается. Внедрение новых методов управления ресурсами не всегда приводит к статистически значимым улучшениям, но оно может быть полезным в контексте определенных ИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубков П. Е., Печерская Е. А., Мартынов А. В. Применение инструментов контроля качества для анализа процесса микродугового оксидирования // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : тез. докл. Третьей всерос. молодеж. науч. конф. Тамбов, 2018. С. 111–113.
2. Печерская Е. А., Зинченко Т. О., Антипенко В. В., Баранов В. А., Вареник Ю. А., Александров В. С. Моделирование взаимосвязей технологических режимов и свойств оксидного покрытия, синтезированного методом спрей-пиролиза // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2020. № 3 (33). С. 69–77.
3. Печерская Е. А. Математические модели предметной области при исследовании параметров материалов нано- и микроэлектроники // Университетское образование : сб. ст. XV Междунар. науч.-метод. конф., посвящ. 50-летию полета первого космонавта Ю. А. Гагарина. Пенза, 2011. С. 436–438.
4. Дохов М. А. Непараметрические критерии в программе «Statistica» : учеб.-метод. пособие. СПб. : СПбГПУ, 2019. 40 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/174499> (дата обращения: 28.09.2023).
5. Игнатушина И. В. Основы математической обработки информации : учеб.-метод. пособие. Оренбург : ОГПУ, 2019. 27 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/130560> (дата обращения: 28.09.2023).
6. Громов Ю. Ю., Иванова О. Г., Стародубов К. В., Кадыков А. А. Программно-аппаратные средства защиты информационных систем : учеб. пособие. Тамбов : ТГТУ, 2017. 194 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/319553> (дата обращения: 28.09.2023).

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ОБЛАСТИ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Антон Владимирович Волков¹, Анастасия Витальевна Марченко²,
Екатерина Владимировна Заварцева³**

^{1,2,3}Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Введение. С каждым днем технологии совершенствуются, а хакеры и злоумышленники становятся все более изобретательными в своих атаках, вследствие этого информационные системы становятся более уязвимыми. Поэтому актуальность исследования проблем аудита информационных систем становится критически важной задачей.

Целью данной статьи является исследование и выявление основных проблем, с которыми сталкиваются аудиторы информационных систем.

Главными задачами является исследование информационной системы администрации Плодопитомнического сельского поселения Рузаевского муниципального района Республики Мордовия, выявление проблем и недостатков, связанных с проведением аудита информационных систем в данной организации на основе Распоряжения Правительства от 31.12.2020 № 3709-р «Об утверждении Концепции развития аудиторской

деятельности в Российской Федерации до 2024 года» [1], а также применение регрессионного анализа для оценки зависимости количества обслуживающих информационных систем работниками администрации данного поселения.

Проблемы аудиторской деятельности. На основе Распоряжения Правительства РФ от 31.12.2020 № 3709-р «Об утверждении Концепции развития аудиторской деятельности в Российской Федерации до 2024 года» [1] для администрации Плодопитомнического сельского поселения Рузаевского муниципального района Республики Мордовия было проведено исследование современных проблем аудиторской деятельности. По данным исследования были выявлены следующие проблемы:

- 1) ограниченный профессионализм аудиторов;
- 2) неподготовленность определенных аудиторов к работе в условиях, когда требования к качеству аудита ужесточаются;
- 3) неопределенность в регулировании аудиторской сферы, вызванная экономическим спадом;
- 4) проблема недостаточного применения автоматизированных инструментов и технологий;
- 5) недобросовестные практики и нарушения законов на рынке аудиторских услуг;
- 6) недостаточность или неоднозначность отчетной документации, что усложняет понимание и анализ функциональности и безопасности системы, делая аудит менее эффективным и полным;
- 7) недостаточное финансирование услуг в сфере аудита;
- 8) недоверие потребителей услуг аудиторских организаций и независимых аудиторов.

Для дальнейшего анализа информационной системы организации, был проведен анализ качества обслуживания информационных систем относительно проживающих жителей на территории поселения. Для этого был проведен корреляционный, а также регрессионный анализы [2–5].

Регрессионный анализ. Применение методов регрессионного анализа для оценки зависимости количества обслуживающих информационных систем работниками администрации Плодопитомнического с. п. Рузаевского муниципального района Республики Мордовия используется для отслеживания зависимости между двумя переменными-парадигмами и переменной-откликом.

Для анализа взаимосвязи между информационными системами, общим числом сотрудников администрации, работающих с данными системами, и общим числом жителей, проживающих на территории Плодопитомнического сельского поселения, использовался метод множественной линейной регрессии. В анализе в качестве независимых переменных-предикторов были использованы данные о количестве обслуживаемых информационных систем и численности работников, обслуживающих определенное количество ИС, а зависимой переменной было общее число жителей.

Проверка соответствия модели проводилась по следующим показателям: R – квадрат и множество – R .

Множество – R – это коэффициент корреляции, который измеряет линейную зависимость между переменными-предикторами и переменной отклика. В данном случае множество – $R = 0,573819$. Если R , кратный 1, это указывает на идеальную линейную зависимость. R , кратный 0, указывает на отсутствие какой-либо линейной зависимости.

В данном случае полученный результат является кратным 1, это значит, что между работниками и обслуживаемыми ими информационными системами имеется идеальная линейная зависимость. Таким образом, при наилучшей работоспособности и управляемости кадров администрации, обслуживание ИС можно признать удовлетворительным относительно числу общего количества проживающего населения. Если работоспособность кадров пониженная, то обслуживание ИС будет на критическом уровне.

R – квадрат (коэффициент детерминации) – это доля дисперсии переменной отклика, которая объяснена предикторной переменной.

Значение R-квадрата может варьироваться от 0 до 1. Если значение 0, это указывает на то, что переменная отклика вообще не может быть объяснена предикторной переменной. Если значение варьируется к 1, то переменная отклика может быть полностью объяснена без ошибок с помощью переменной-предиктора.

В нашем случае R-квадрат = 0,329268, это указывает на то, что только 32,92 % работников могут полностью обслужить ИС.

Корреляционный анализ. Для проведения анализа использовалась система электронного документооборота, которая в которую входят следующие информационные системы: ФИС ТП, МИС, СЭД, АИС САО, ГИС «Единое окно Минсельхоза», ФГИС ТП, ГИС «Энергоэффективность», ГИС ГМП, ФГИС ТП, ГИС «Реформа ЖКХ»; общее число кадров - 6 и сотрудников работающих с информационными системами – 4; общее число жителей проживающих на территории Плодопитомнического с. п. – 1000.

Для выявления связи между информационными системами, кадрами, обслуживающие данные ИС и общим числом жителей, использовалась корреляция. На рис. 1 представлен графики корреляции между информационными системами и количеством сотрудников, обрабатывающих данные информационные системы.

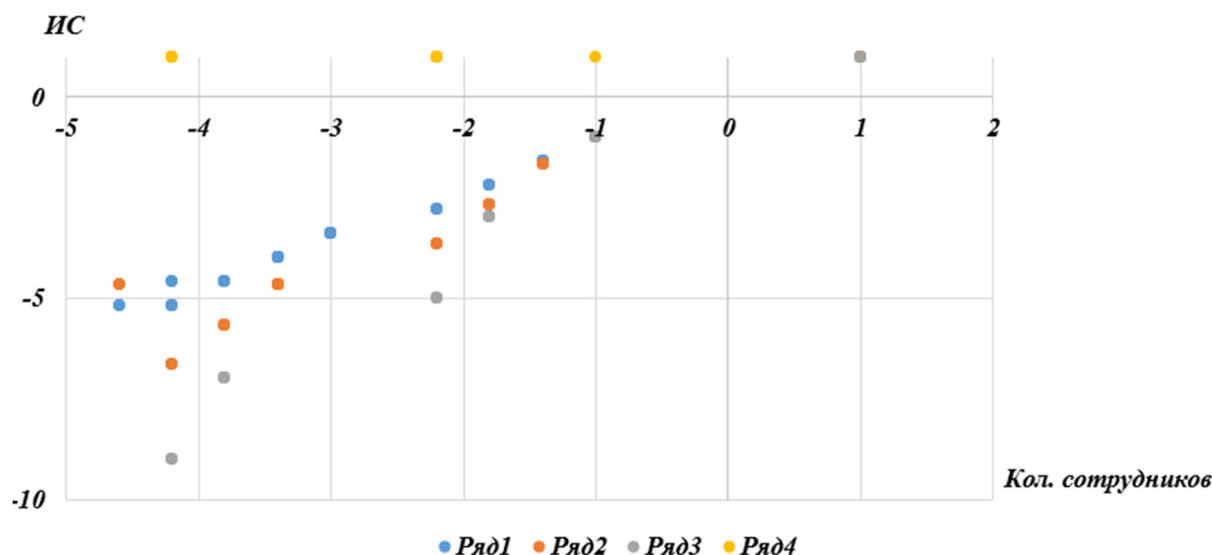


Рис. 1. Графики корреляции между информационными системами и количеством сотрудников

На рис. 1 показаны, наблюдения различающихся показателей, при которых в первом варианте коэффициент корреляции положительный и равен единице, это означает, что сотрудники в полном объеме смогут обслужить данные ИС. Остальные случаи показывают отрицательный коэффициент корреляции, т.е. сотрудники обслуживают данные ИС не в полном объеме. Также, имеются случаи, когда коэффициент корреляции больше единицы, что означает отсутствие взаимосвязи между ИС и сотрудниками.

На рис. 2 представлены графики корреляции между числом сотрудников, обслуживающих ИС и общим количеством жителей поселения.

На рисунке 2 приведен линейный график с положительной взаимосвязью между работниками администрации и числом жителей. Это означает, что сотрудники в полном объеме могут обслужить жителей поселения. Остальные графики показывают слабую взаимосвязь между сотрудниками и общим числом жителей. Это показывает, что при ряде иных случаев работники не в полной мере смогут обслужить данное число жителей.

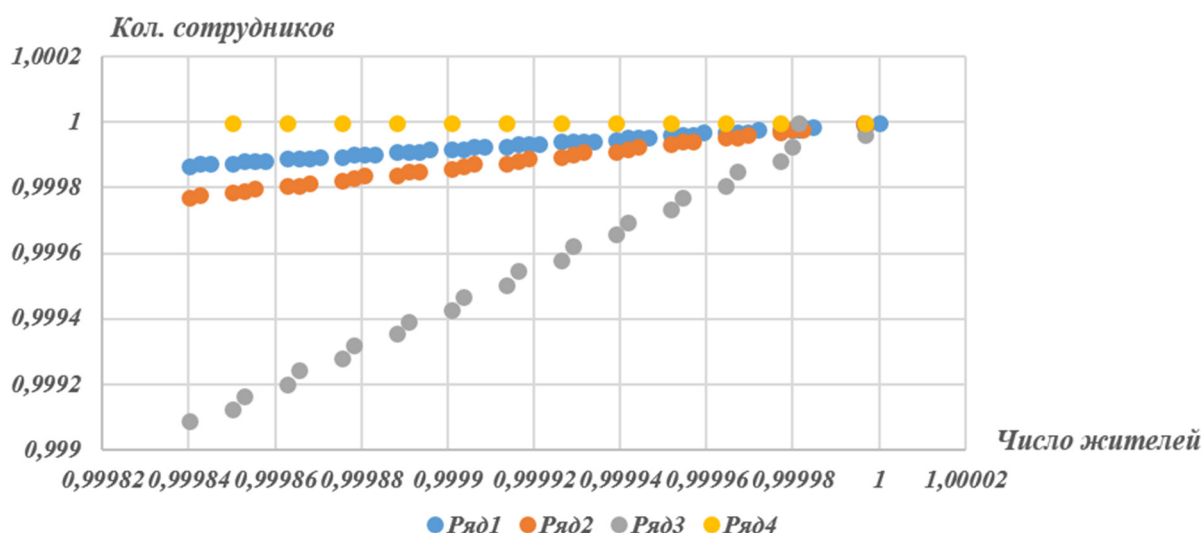


Рис. 2. Графики корреляции между числом сотрудников, обслуживающих ИС и общим количеством жителей поселения

Заключение. В данной статье были исследованы и выявлены актуальные проблемы в области аудита информационных систем на основе Распоряжения Правительства РФ от 31.12.2020 № 3709-р «Об утверждении Концепции развития аудиторской деятельности в Российской Федерации до 2024 года», а также с помощью корреляционного и регрессивного метода произведен анализ качества обслуживания информационных систем относительно проживающих жителей на территории поселения. Данные результаты исследования были выявлены для администрации Плодопитомнического сельского поселения Рузаевского муниципального района Республики Мордовия для анализа проблем в области аудита информационных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Концепции развития аудиторской деятельности в Российской Федерации до 2024 года : распоряжение Правительства РФ № 3709-р от 31.12.2020. URL: <https://sudact.ru/law/rasporiazhenie-pravitelstva-rf-ot-31122020-n-3709-r/>
2. Кане М. М. Предварительный анализ экспериментальных данных. Оценка правомерности применения корреляционно-регрессионного анализа в заданных условиях : учеб. пособие. Минск : БНТУ, 2020. 49 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/248339> (дата обращения: 06.06.2023).
3. Круценюк К. Ю. Корреляционно-регрессионный анализ в эконометрических моделях : учеб. пособие. Норильск : НГИИ, 2018. 108 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/155915> (дата обращения: 06.06.2023).
4. Artamonov D. V., Baranov V. A., Pecherskaya E. A., Tsypin B. V., Fimin A. V., Pushkareva A. V. Application of a hyper-complex impedance model for indirect measurements of materials parameters of functional electronics // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM. Erlagol, 2019. С. 760–764.
5. Воробьева Е. Ю., Крайнова К. Ю., Печерская Е. А., Бибарсова А. М. Факторы, влияющие на точность биоимпедансного анализа // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. VI Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. / под ред. Л. Р. Фионовой. Пенза, 2019. С. 178–179.

ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Антон Владимирович Волков¹, Светлана Львовна Крылова²,
Анастасия Витальевна Марченко³

^{1,2,3}Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Введение. Риски и сбои в области информационной безопасности для корпоративной информационной системы (ИС) представляют серьезную угрозу и могут иметь разнообразные последствия для организации, включая финансовые, операционные и репутационные ущербы. Оценка рисков информационной безопасности (ИБ) позволяет определить потенциальные угрозы, оценить вероятность их возникновения и уровень воздействия, а также разработать стратегию для минимизации или управления рисками.

Целью данной статьи является разработка модели оценки рисков ИБ в информационной системе администрации Плодопитомнического сельского поселения Рузаевского муниципального района на основе нечеткой логики.

Разработка нечеткой модели. Для успешного анализа совокупности описанных параметров необходимы специализированные знания и практический опыт разработчиков. Поэтому разумным и обоснованным подходом при выявлении потенциальных информационных рисков в ИС является использование экспертных систем. Многие аспекты безопасности являются качественными и часто не могут быть количественно измерены. В таких случаях эксперты часто выражают свою оценку словесно, а затем связывают с числовым значением. Однако это может внести субъективный элемент в оценку, что делает необходимым использование лингвистических переменных (ЛП), то есть применения нечеткой логики, которая успешно применяется в схожих задачах обеспечения информационной безопасности.

Для разработки нечеткой модели, согласно установленным уровням формирования режима ИБ, были введены необходимые лингвистические переменные: ЗП – законодательно-правовой уровень защиты; АО – административный (организационный) уровень защиты; ПТ – программно-технический уровень защиты. Выходной лингвистической переменной является уровень риска ИБ при обслуживании ИС – ИБ. Определяем множество всех возможных значений ЛП: для входных ЛП АО и ЗП введем терм-множество низкая, средняя, высокая; для ПТ — критически низкая, низкая, средняя, высокая, критически высокая; терм-множество выходной ЛП описывает уровень ИР: отсутствует, маловероятный, низкий, достаточно высокий, критически высокий.

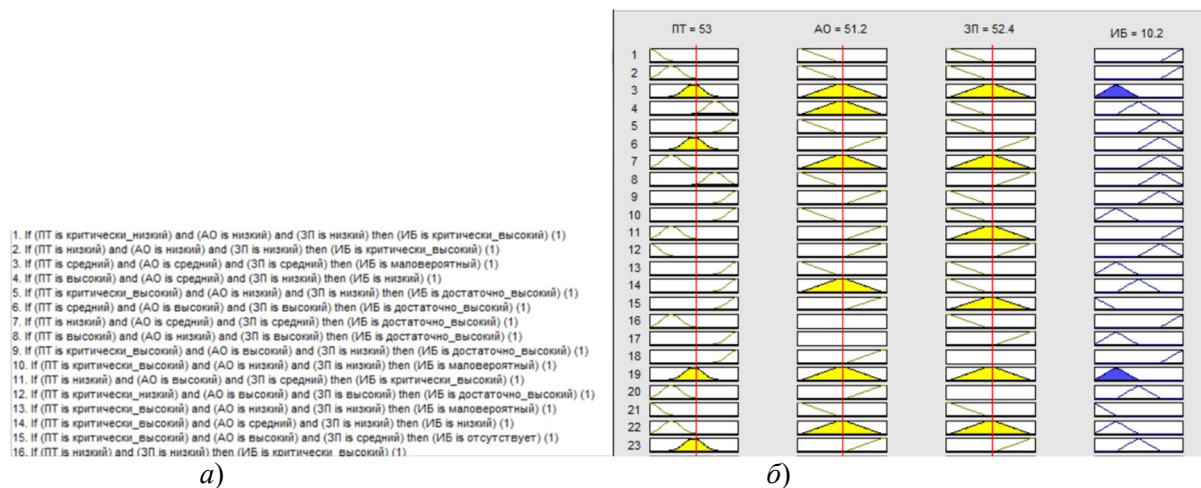
Для разработки методики оценки рисков необходимо создать экспертную систему, которая будет реализована в форме нечеткой системы вывода, позволяющая определить степень риска на основе субъективных оценок всех уровней ИБ. Для моделирования такой системы используется программный инструмент Fuzzy Logic Toolbox, представляющий дополнение MATLAB, содержащий инструменты для проектирования нечетких логических систем [4, 5]. При определении формы кривых функций принадлежности учитывается, что они строятся с учетом субъективных мнений экспертов, поэтому они являются, в некоторой степени, приближенными.

В результате проведенного исследования была определена нечеткая база знаний, представленная на рис. 1.

На практике форма кривых функций принадлежности выбирается исходя из сложности вычислений. Наиболее распространены треугольные и трапецеидальные функции принадлежности из-за их универсальности и меньших требований к вычислительным ресурсам при их реализации.

На основании экспертных измерений были получены следующие численные значения, считающиеся по 100 балльной шкале представленные на рис. 2.

Согласно выполненному расчету, уровень риска ИБ измеренных параметров ПТ, АО, ЗП при среднем уровне обеспечения безопасности является НИЗКИМ – 10,2. Для исследования оценки риска ИБ на основании экспертных измерений был проведен анализ зависимости ПТ уровня защиты и ЗП уровня защиты, данные были сведены в табл. 1.



Рису. 1. Условия для ЛПИ в MATLAB (а).
Результаты вычислений нечеткого вывода для 23 заданных правил (б)

Таблица 1

Данные анализа зависимости ПТ уровня защиты
и ЗП уровня защиты

ПТ	ЗП	Уровень риска ИБ при обслуживании ИС
11,4	17,7	23,9
39,2	28,7	13,6
53,6	21,3	11,4
18,7	73,8	15,5
70,5	73,8	9,29
87,3	12,8	14,8

На рис. 3 представлены графики зависимости

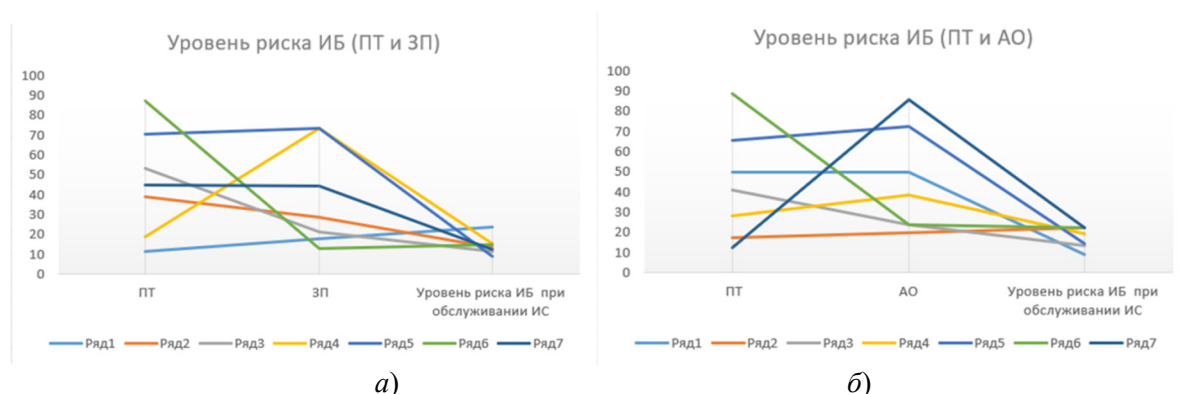


Рис. 3

При анализе показателей было выявлено, что при НИЗКОМ ПТ и ЗП уровне защиты, уровень риска ИБ высокий – 23,9 %. При низком значении ЗП уровня и высоком ПТ уровень риска ИБ равен 14,8 %. При низком ПТ уровне защиты и высоком ЗП,

уровень риска ИБ остается низким – 15,5. Также был проведен анализ зависимости ПТ уровня защиты и АО уровня защиты, данные были сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Данные анализа зависимости ПТ уровня защиты
и АО уровня защиты**

ПТ	АО	Уровень риска ИБ при обслуживании ИС
50	50	9,12
17,2	20,1	22,5
41,2	23,8	13,7
28,3	38,4	19,6
65,7	72,6	14,7
88,6	23,8	22,4

При анализе показателей было выявлено, что при низком ПТ и АО защиты уровень риска ИБ при обслуживании ИС 22,5. Высокий уровень риска ИБ остается, когда значение того или иного уровня защиты повышается, а другое значение переменной остается на низком уровне. При высоких и средних показателях уровня защиты ПТ и ЗП уровень риска ИБ находится на низком уровне, об этом говорят значения 13,7 и 14,7%. При снижении уровня защиты показатели риска увеличиваются.

При анализе показателей входных ЛП наиболее низкий уровень ИБ наблюдается при стабильном ПТ и АО уровне защиты, наиболее высокий уровень риска при ПТ и ЗП уровне защиты. При обслуживании ИС в администрации Плодопитомнического с.п. риск в области ИБ наиболее вероятен при работе с персональными данными, конфиденциальностью, хранению и передаче данных.

Заключение. Полученные результаты исследования помогут организации выявить наиболее критические угрозы, что позволит сосредотачивать ресурсы на наиболее важных уровнях защиты ИС, а также снизить риски и поддержать ее более надежное и устойчивое функционирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нечеткая логика : учеб.-метод. пособие / сост.: Д. В. Полупанов, С. Р. Абдюшева. Уфа : БашГУ, 2020. 84 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/179916> (дата обращения: 17.09.2023).
2. Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б. Основы нечеткой логики : учеб. пособие. М. : РТУ МИРЭА, 2019. 88 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/171457> (дата обращения: 17.09.2023).
3. Математический анализ : учеб. пособие / сост. Е. П. Ярцева. Ставрополь : СКФУ, 2017. 256 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/155295> (дата обращения: 01.10.2023).
4. Печерская Е. А., Артамонов Д. В., Полосина Е. В., Симагин В. А., Кротова Ю. В. Методика оценивания эффективности модуля электронной информационно-образовательной среды «ВУЗ+работодатель» // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2018. № 3 (27). С. 96–107.
5. Antipenko V. V., Pecherskaya E. A., Zinchenko T. O., Artamonov D. V., Spitsina K. Yu., Pecherskiy A. V. Development of an automated bioimpedance analyzer for monitoring the clinical condition and diagnosis of human body diseases // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, 2020. P. 52075.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ИХ БЕЗОПАСНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

Антон Владимирович Волков¹, Анастасия Витальевна Марченко²,
Екатерина Михайловна Мигачева³

^{1,2,3}Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Введение. В современном динамичном мире эффективность работы организации и обеспечение ее информационной безопасности зависят от множества факторов, включая качество обслуживания, производительность сотрудников и безопасность информационных систем. Тем не менее, остается актуальным вопросом для многих организаций определение, какие конкретные факторы оказывают наибольшее влияние на эти аспекты. Целью данной статьи является выявление и анализ связи между качеством обслуживания и уровнем работоспособности, а также на выявлении взаимосвязи между работоспособностью сотрудников и информационной безопасностью при обслуживании ИС [1, 2]. Результаты анализа помогут организации лучше понять, как работоспособность влияет на качество обслуживания и как качество обслуживания связано с информационной безопасностью. Какие меры могут быть предприняты для улучшения безопасности в зависимости от уровня работоспособности.

Оценка работоспособности сотрудников. По результатам исследования предыдущей статьи [4] с помощью корреляционного и регрессионного анализа было выявлено, что сотрудники обслуживают информационные системы (далее ИС) не в полном объеме, а также при ряде определенных случаев работники не в полной мере смогут обслужить жителей Плодопитомнического с. п. Также были представлены результаты регрессионного анализа, результаты исследования показали, что только 32,92 % работников могут полностью обслужить ИС.

Для оценки уровня работоспособности каждого сотрудника использовалась «Методика регулярной оценки», которая включала обратную связь от руководителя, оценку достижений, неудач и развитие сотрудников. Методика проводилась систематически раз в неделю на протяжении двух месяцев. Опрос содержал вопросы учитывающие основные факторы, влияющие на работоспособность и продуктивность сотрудников [5]:

- 1) профессиональные факторы
 - знания, умения и навыки;
 - профподготовленность, опыт;
 - отношения в коллективе;
 - условия деятельности.
- 2) физические и психологические факторы
 - направленность (мотивы, интересы, установки, способности);
 - воля и характер;
 - переутомление, монотонность, бдительность, режим питания.

На рис. 1 приведена диаграмма показателей работоспособности сотрудников.

По результатам данной оценки видно, что «высокая» работоспособность у Главы и Ведущего специалиста, «средняя» - Специалиста, Заместителя главы, Военно-учетного работника, «низкая» у второго военно-учетного работника.

Двухфакторный дисперсионный анализ. Для выявления факторов влияющих на работоспособность сотрудников был проведен статистический анализ с помощью двухфакторного дисперсионный анализа [3].

Результаты исследования выявили какой фактор в наибольшей степени оказывает влияние на работоспособность сотрудников администрации: совокупность физических и психологических факторов или профессиональные факторы.



Рис. 1. Диаграмма показателей работоспособности сотрудников

В ходе двухфакторного дисперсионного анализа были достигнуты и проанализированы следующие результаты:

- значение p для физического и психологического фактора составило 1. Это не является статистически значимым при уровне альфа 0,05;
- значение p для воздействия профессионального фактора составил 0,068655. Это не является статистически значимым при уровне альфа 0,05;
- значение p для взаимодействия между физическими и психологическими особенностями и профессиональной составило 0,0228326. Это статистически значимо при уровне альфа 0,05.

Так же среднее значение влияния факторов у каждого сотрудника равен 0,5, это показывает, что совокупность профессиональных и психофизических факторов влияет в равной степени на работоспособность организации.

Таким образом, результаты показывают, что на работоспособность и качественное обслуживание ИС в администрации Плодопитомнического сельского поселения влияют оба фактора.

Оценка работоспособности сотрудников. Для оценки уровня работоспособности каждого сотрудника использовалась «Методика регулярной оценки», которая включала обратную связь от руководителя, оценку достижений, неудач и развитие сотрудников. Методика проводилась систематически раз в неделю на протяжении двух месяцев. Опрос содержал вопросы учитывающие основные факторы, влияющие на работоспособность и продуктивность сотрудников [5]:

2) профессиональные факторы

- знания, умения и навыки;
- профподготовленность, опыт;
- отношения в коллективе;
- условия деятельности.

2) физические и психологические факторы

- направленность (мотивы, интересы, установки, способности);
- воля и характер;
- переутомление, монотонность, бдительность, режим питания.

На рис. 2 приведена диаграмма показателей работоспособности сотрудников.



Рис. 2. Диаграмма показателей работоспособности сотрудников

По результатам данной оценки видно, что «высокая» работоспособность у Главы и Ведущего специалиста, «средняя» - Специалиста, Заместителя главы, Военно-учетного работника, «низкая» у второго военно-учетного работника.

Однофакторный дисперсионный анализ. Для исследования связи между работоспособностью сотрудников и информационной безопасностью обслуживания ИС использовался однофакторный дисперсионный анализ [3].

Процесс исследования включал определение показателей, которые отражают работоспособность сотрудников и метрик, связанных с информационной безопасностью. В качестве основного фактора были взяты показатели случаев допущенных ошибок в области информационной безопасности при работе с информационными системами. Данные показатели были разделены на группы на основе работоспособности каждого сотрудника (например, группа с высокой, средней и низкой работоспособностью).

Однофакторный дисперсионный анализ позволил определить, есть ли статистическая взаимосвязь между группами работоспособности сотрудников и безопасностью обслуживания ИС.

Проверка соответствия модели проводилась по следующим показателям:

Статистика F-теста – это любой статистический тест, в котором тестовая статистика имеет F-распределение при нулевой гипотезе.

Критическое значение F – это статистический критерий, тестовая статистика которого при выполнении нулевой гипотезы имеет распределение Фишера (F-распределение).

В данном случае статистика F-теста равна 1,25, а критическое значение F равно 9,55209. Поскольку статистика F-теста меньше критического значения F, нет достаточных доказательств, чтобы отклонить нулевую гипотезу о том, что существует связь между работоспособностью сотрудников и безопасностью обслуживания ИС.

Это означает, что нет достаточных доказательств того, что уровень работоспособности не влияет на информационную безопасность при работе с информационными системами. Также можно рассмотреть p-значение, которое подтверждает выше обоснованные выводы. Число p-значение равно 0,402844 что больше, чем альфа-уровень 0,05. Это означает, что нет достаточных доказательств, чтобы отвергнуть нулевую гипотезу о том,

что связь между работоспособностью сотрудников и безопасностью обслуживания ИС существует.

Заключение. В данной статье был представлен статистический анализ влияния работоспособности сотрудников на качество и безопасность обслуживания ИС, с помощью однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа. Результаты двухфакторного анализа позволили выявить, что на работоспособность и качественное обслуживание ИС в администрации Плодопитомнического сельского поселения влияют профессиональный и психофизиологические факторы. Результаты исследования с помощью методики регулярной оценки сотрудников позволили выявить уровень работоспособности каждого сотрудника и его влияние на качественное обслуживание ИС. Результаты однофакторного анализа исследования позволили рассмотреть влияние уровня работоспособности каждого сотрудника на информационную безопасность при обслуживании информационных систем. Полученные выводы подтвердили наличие связи между работоспособностью сотрудников и уровнем информационной безопасности. Это указывает на то, что работоспособность и ее факторы оказывают влияние на информационную безопасность организации в контексте обслуживания информационных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Antipenko V. V., Pecherskaya E. A., Zinchenko T. O., Artamonov D. V., Spitsina K. Yu., Pecherskiy A. V. Development of an automated bioimpedance analyzer for monitoring the clinical condition and diagnosis of human body diseases // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, 2020. P. 52075.
2. Печерская Е. А., Артамонов Д. В., Полосина Е. В., Симагин В. А., Кротова Ю. В. Методика оценивания эффективности модуля электронной информационно-образовательной среды «вуз+работодатель» // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2018. № 3 (27). С. 96–107.
3. Буре В. М., Парилина Е. М. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник. СПб. : Лань, 2022. 416 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/211250> (дата обращения: 18.08.2023).
4. Волков А. В., Заварцева Е. В., Марченко А. В. Исследование проблем в области аудита информационных систем // Научный вестник Поволжья. 2023. № 6. С. 141–144.
5. Лемешевская Е. П. Основы физиологии труда. Влияние особенностей трудовой деятельности на организм человека : учеб. пособие. Иркутск : ИГМУ, 2022. 42 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/343475> (дата обращения: 18.08.2023).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТРОЛЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ РАБОЧЕГО СОСТОЯНИЯ ТОКОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Антон Владимирович Волков¹, Денис Витальевич Селяев²

^{1,2}Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

При реализации высоких скоростей движения особенно актуальной во всем мире остается проблема обеспечения надежного и качественного токосъема, одним из перспективных решений которой является применение систем автоматического регулирования (САР) нажатия токоприемников.

Графитовые токоприемники являются основным элементом системы проводного питания на электрифицированных железных дорогах. Они широко используются в поездах, метро и трамваях. Графитовые токоприемники позволяют получать электрическую энергию от контактной сети и передавать ее на двигатели поезда.

Преимущества графитовых токоприемников включают в себя прочность и долговечность материала, а также его высокую электропроводность. Графит является хорошим проводником электричества и обладает способностью выдерживать высокие токи и температуры. Кроме того, графитовые токоприемники обладают низким трением при контакте с контактной сетью, что уменьшает износ и шум.

Токоприемники содержат несколько параллельных графитовых колосников, которые прижимаются к контактной сети. При движении поезда электрический ток передается от контактной сети на колосники, а затем на провода, соединенные с двигателями поезда. Графитовые колосники имеют специальную форму, которая обеспечивает хороший контакт с контактной сетью и устойчивость к колебаниям и вибрациям.

Хотя графитовые токоприемники имеют множество преимуществ, у них также есть некоторые недостатки. Широко распространенные на электрифицированных железных дорогах графитовые токоприемники, установленные на пантографы, подвергаются износу в зависимости от нажатия. Нажатие определяется силой, которую токоприемник оказывает на контактную проводку, чтобы осуществить передачу электричества. Это требует регулярной замены и обслуживания токоприемников. Кроме того, графит подвержен загрязнению, так как может привлекать пыль и грязь из окружающей среды. Это может привести к ухудшению контакта с контактной сетью и снижению производительности системы.

Тем не менее, благодаря своим преимуществам и широкому распространению, графитовые токоприемники продолжают использоваться в электрифицированных железных дорогах по всему миру. Исследования также проводятся для поиска новых материалов и технологий, которые могут улучшить их эффективность и долговечность.

Уменьшение нажатия приводит к снижению износа, но только до определенного значения, после которого дальнейшее уменьшение нажатия ведет к росту износа за счет искрообразования (1) и электроэрозионного (2) разрушения поверхностного слоя контактных материалов (см. рис. 1).

В электровозах и электросекциях переменного тока установлены токоприемники ТЛ-13У. На электровозах постоянного тока наибольшее применение получили токоприемники П-3, П-5 и 10РР, на электросекциях постоянного тока — ТЛ-13У или ТЛ-13М, используют также токоприемники П-1 и ДЖ-5. Токоприемники ТЛ-13У и ТЛ-14М различаются только типами полоза (соответственно с угольными вставками и металлокерамическими пластинами). За рубежом имеются токоприемники с незамкнутой (асимметричной) системой подвижных рам, а также с перекрещивающимися нижними рамами.

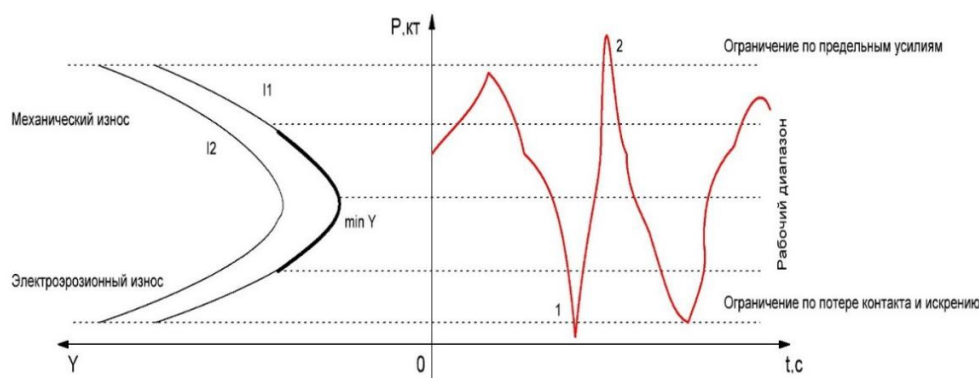


Рис. 1. Схема выбора оптимального нажатия

Исследование и математическое моделирование характеристик переходных процессов в углеграфитовых вставках системы токоприёмного устройства мотовагонного подвижного состава является сложной и высокоспециализированной задачей, связанной с электротехникой и электродинамикой. Для проведения такого исследования потребуется следующий общий план:

1. Сбор данных: включает в себя сбор всех необходимых данных о системе токоприёма, включая геометрические характеристики углеграфитовых вставок, электрические параметры, такие как сопротивление, ёмкость и индуктивность, а также данные о токоподводящих контактах.

2. Формулирование математической модели: разработка математической модели, которая описывает работу системы токоприёма, включая уравнения, описывающие электрические процессы и взаимодействие между углеграфитовыми вставками и контактами.

3. Параметризация модели: определение параметров модели, такие как электрические и геометрические характеристики вставок, их материалы и структуру.

4. Решение уравнений: планируется применение численных методов и программного обеспечения, такие как системы компьютерной алгебры или специализированные программы для решения систем уравнений, описывающих переходные процессы [1–3].

5. Симуляция и анализ результатов: проведение симуляции на основе математической модели, чтобы изучить переходные процессы и характеристики системы токоприёма. Анализ полученных данных для выявления потенциальных проблем или улучшений.

6. Оптимизация и конструктивные изменения: если исследование выявляет неэффективность или проблемы в работе системы токоприёма, планируется поиск оптимизационных решений или конструктивных изменений для улучшения характеристик.

7. Тестирование в реальных условиях: тестирование системы токоприёма в реальных условиях для проверки работоспособности предложенных улучшений.

Математическое моделирование характеристик переходных процессов, возникающих в углеграфитовых вставках системы токоприёмного устройства мотовагонного подвижного состава, может быть осуществлено с использованием различных математических методов и моделей. В целом, математическое моделирование характеристик переходных процессов в углеграфитовых вставках системы токоприёмного устройства мотовагонного подвижного состава является важным инструментом для анализа и оптимизации работы этих систем и может быть выполнено с использованием различных математических методов и моделей.

Один из подходов к моделированию характеристик переходных процессов в углеграфитовых вставках может быть связан с использованием дифференциальных уравнений, описывающих физические процессы, происходящие в системе. Другим подходом может быть использование теории систем автоматического управления для моделирования переходных процессов. Это может включать перевод системы токоприёмного устройства в форму передаточных функций, которые описывают зависимость выходного сигнала от входного сигнала в частотной области. Затем можно использовать методы анализа и синтеза систем автоматического управления, такие как методы корневых точек или частотная характеристика, чтобы получить характеристики переходных процессов, такие как время перехода или перерегулирование. Кроме того, существуют также программные пакеты для моделирования систем электроэнергетики, которые предоставляют графический интерфейс и инструменты, позволяющие моделировать и анализировать характеристики переходных процессов в углеграфитовых вставках.

Токоприёмники на железнодорожном транспорте являются важной частью электрооборудования, которые передают электроэнергию от контактной сети к электрооборудованию локомотива или электропоезда.

Основные типы токоприемников на железных дорогах России включают дуговые токоприемники, верхний токосъемник, нижний токосъемник, боковой токосъемник, ленточный токосъемник и верхний пантограф.

Токоприемники изготавливаются из качественных материалов и имеют различные конструкции в зависимости от типа электрооборудования и условий эксплуатации.

Сила статического нажатия токоприемника задается моделью резинокордного подъемно-опускающего механизма, на вход которого подается сигнал давления в пневмосистеме. Подъемно-опускающий механизм моделируется при помощи передаточной функции, параметры которой определяются экспериментально для выбранной конструкции токоприемника [4].

На рис. 2 приведена схема математической модели автоматического регулирования токоприемника в среде Simulink.

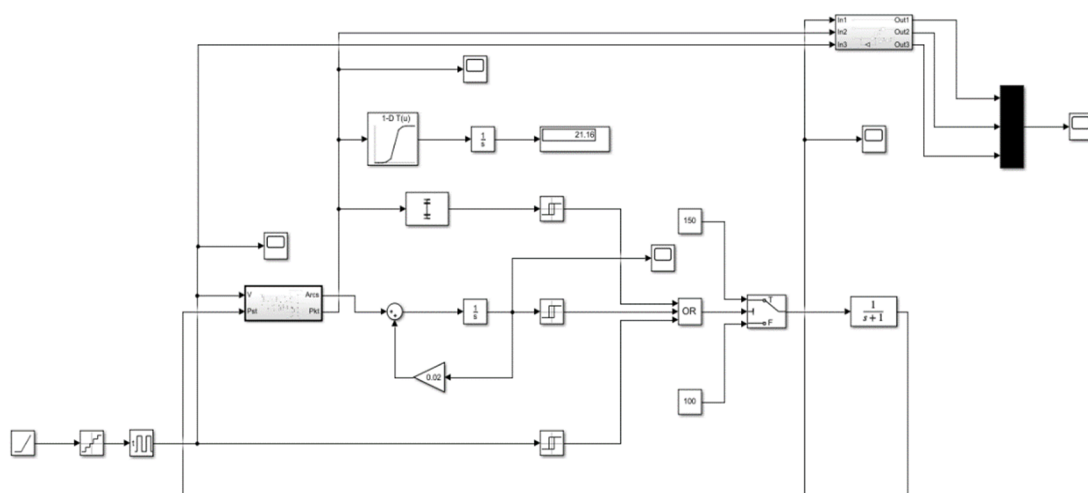


Рис. 2. Схема математической модели автоматического регулирования токоприемника в среде Simulink

Искрение в контакте моделируется при помощи случайной функции с равномерным законом распределения. Значение функции искрения принимается равным нулю при достижении контактным нажатием минимального порогового значения $P_{\text{кт min}}$.

Подсистема регулирования токоприемника по скорости движения использует пороговый элемент, который подает управляющий сигнал на включение повышенного давления при достижении заданного значения скорости $v_{\text{п}}$.

Поскольку подъемно-опускающий механизм характеризуется длительным переходным процессом при переключении ступеней давления, использовать быстро меняющуюся величину контактного нажатия при регулировании не представляется возможным, поэтому подсистема регулирования по контактному нажатию выполняет расчет среднеквадратичного отклонения за фиксированный промежуток времени $\sigma P_{\text{кт}}$. При достижении этой величиной порогового значения $\sigma P_{\text{кт}}$ и подается сигнал на включение повышенного давления.

Система регулирования на основе искрения интегрирует сигнал интенсивности $i(t)$. Когда интегральный сигнал достигает порогового значения $I_{\Sigma\text{п}}$, система отправляет сигнал для увеличения давления. После прекращения искрения, система переключает электропневматический распределитель обратно на исходный уровень давления воздуха, обеспечивая восстановление нажатия до заранее установленного уровня [5]. Управляющие сигналы от всех регуляторов объединяются при помощи логической функции дизъюнкции, что позволяет им работать параллельно.

Износ контактирующих элементов углеграфитовых вставок может привести к снижению эффективности работы системы токоприемного устройства и увеличению риска возникновения неисправностей. Для минимизации износа контактирующих элементов на высоких скоростях необходимо разработать решения и внедрить эффективное применение ступенчатых регуляторов нажатия токоприемника позволяет повысить качество и надежность токосъема при высоких скоростях движения [6]. Регулятор по скорости движения электроподвижного состава менее эффективен по сравнению с другими вариантами, поскольку управляющий сигнал не связан с контактным нажатием по цепи обратной связи. Регулирование по искрению дает эффект, сравнимый с регулированием по контактному нажатию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pecherskaya E. A., Golubkov P. E., Fimin A. V., Zinchenko T. O., Pechersky A. V., Shepeleva J. V. Intelligent system for active dielectrics parameters research // *Procedia Computer Science. Ser. "International Conference on Computational Intelligence and Data Science, ICCIDS 2018"*. Elsevier B. V., 2018. P. 1163–1170.
2. Artamonov D. V., Baranov V. A., Pecherskaya E. A., Tsypin B. V., Fimin A. V., Pushkareva A. V. Application of a hyper-complex impedance model for indirect measurements of materials parameters of functional electronics // *International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM. IEEE Computer Society. 2019. P. 760–764.*
3. Печерская Е. А. Математические модели предметной области при исследовании параметров материалов нано- и микроэлектроники // *Университетское образование : сб. ст. XV Междунар. науч.-метод. конф., посвящ. 50-летию полета первого космонавта Ю. А. Гагарина / под ред. В. И. Волчихина, Р. М. Печерской. Пенза, 2011. С. 436–438.*
4. Сидоров О. А., Ступаков С. А. Исследование и прогнозирование износа контактных пар систем токосъема с жестким токопроводом : монография. М. : УМЦ ЖДТ, 2012. 174 с.
5. Сидоров О. А., Филиппов В. М., Ступаков С. А. Исследования электромеханического изнашивания контактных пар устройств токосъема электрического транспорта // *Трение и износ. 2015. Т. 36, № 5. С. 511–517.*
6. Ступаков С. А., Сидоров О. А., Филиппов В. М. Моделирование электромеханического изнашивания контактных пар устройств токосъема электрического транспорта // *Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. № 4. С. 23–30.*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСКОНТАКТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ОТ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА РЖД

Антон Владимирович Волков¹, Екатерина Михайловна Мигачева²

^{1,2}Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Рассматриваются вопросы использования бесконтактной передачи энергии. Осуществляется математическое моделирование и экспериментальное исследование приемных устройств наведенного напряжения от контактной сети постоянного тока РЖД,

Проектирование математической модели бесконтактной передачи энергии от контактной сети РДЖ (распределительной железной дороги) может включать в себя различные аспекты из режима работы железнодорожного сообщения, такие как:

- 1) моделирование движения поездов
- 2) моделирование загрузки и разгрузки грузов.
- 3) моделирование расписания движения поездов и отправления грузов.

- 4) моделирование оборудования и ресурсов,
- 5) моделирование стоимости и доходности

Бесконтактная передача энергии через воздушный трансформатор имеет ряд преимуществ по сравнению с проводной передачей электроэнергии. Во-первых, она исключает необходимость в проводах и кабелях, что упрощает систему передачи и уменьшает риск повреждений и потери энергии на протяжении пути передачи. Во-вторых, она позволяет передавать энергию на большие расстояния без необходимости в промежуточных станциях или повышении напряжения для снижения потерь. В-третьих, она не требует прямого физического контакта с передающей и принимающей сторонами, что делает ее более безопасной и эффективной для передачи энергии на большие высоты или другие труднодоступные места.

При проектировании воздушных трансформаторов не включаются емкостные обмотки, поскольку воздушные трансформаторы обычно не предназначены для передачи энергии через электрические поля, а скорее используются для измерений или получения сигналов. Обычно воздушные трансформаторы используются для преобразования напряжения или для изоляции цепей. Что касается диэлектрических составляющих воздушного трансформатора, то они не играют такую же важную роль, как в трансформаторах с жидкостными или изолирующими газами. Воздушные трансформаторы обычно имеют межобмоточные изоляторы, которые предназначены для обеспечения достаточного расстояния между обмотками и защиты от пробоя.

Значительное расстояние между обмотками и использование межобмоточных изоляторов помогают предотвратить пробой между обмотками воздушного трансформатора. Это особенно важно при работе на высоких уровнях напряжения, чтобы избежать попадания электрического разряда от первичной к вторичной обмотке или наоборот, что может привести к повреждению трансформатора.

Модель воздушного трансформатора может быть представлена уравнениями, представленными ниже. Уравнения взаимной индукции между первичной L_1 и вторичной L_2 обмотками воздушного трансформатора:

$$V_1 = -L_1 * \frac{dI_1}{dt} \quad (1)$$

$$V_{12} = -L_2 * \frac{dI_2}{dt} \quad (2)$$

где V_1 и V_2 – напряжения на первичной и вторичной обмотках соответственно; I_1 и I_2 – токи в первичной и вторичной обмотках соответственно; L_1 и L_2 – индуктивности первичной и вторичной обмоток соответственно.

Модель источника и нагрузки. Связь между передающей и получающей сторонами: отношение напряжений и токов между первичной и вторичной обмотками через коэффициент взаимной индукции (k):

$$V_{нагр} = k * V_{ист} \quad (3)$$

$$I_{нагр} = \frac{1}{k * I_{ист}} \quad (4)$$

Учет потерь. В реальных системах бесконтактной передачи энергии могут возникать потери, например, из-за сопротивления проводников, эффектов рассеяния и других факторов. Потери могут быть учтены в виде мощности потерь.

Эффективность передачи энергии может быть оценена как отношение мощности на нагрузке к мощности источника, учитывая потери:

$$\eta = \frac{P_{нагр}}{P_{ист}} \quad (5)$$

Это общая структура математической модели для бесконтактной передачи энергии методом наведенного напряжения с использованием воздушного трансформатора. Реальные модели могут быть более сложными и учитывать дополнительные параметры, такие как расстояние между обмотками, частота переменного тока и другие факторы.

Одним из основных уравнений, описывающих взаимную индукцию воздушного трансформатора, является формула Лоренца:

$$e_2 = -n_2 * \frac{d_1}{dt}, \quad (6)$$

где e_2 – ЭДС, индуцированная во вторичной обмотке; n_2 – число витков во вторичной обмотке; d_1 – магнитный поток, создаваемый током в первичной обмотке; t – время.

Также можно использовать формулу для расчета взаимной индукции:

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}, \quad (7)$$

где M – взаимная индукция между обмотками, k – коэффициент связи между обмотками (от 0 до 1), L_1 и L_2 – индуктивности первичной и вторичной обмоток соответственно.

Коэффициент связи k может быть рассчитан по формуле:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}. \quad (8)$$

Взаимная индукция между первичной и вторичной обмотками воздушного трансформатора влияет на передачу энергии от первичной к вторичной обмотке и определяет эффективность работы трансформатора.

Однако, бесконтактная передача энергии также имеет свои ограничения и потери. Энергия, передаваемая через воздух, может испытывать потери из-за различных факторов, включая дальность передачи, электромагнитные помехи и ограничения мощности передачи. Потери энергии также могут возникать из-за несовершенства самого трансформатора, включая контактные потери и тепловые потери. Более того, бесконтактная передача энергии может быть более дорогостоящей по сравнению с проводной передачей электроэнергии, особенно при больших масштабах и необходимости в специальном оборудовании.

Использование моделей передачи электрической энергии позволяет эффективно планировать и управлять энергетическими системами, обеспечивая надежную и стабильную передачу электрической энергии от источника к потребителю.

Математическое моделирование процесса передачи энергии в контактной сети РЖД может быть основано на уравнениях электромагнитной теории. Одной из основных моделей является модель передачи электрической энергии в линии передачи. Эта модель учитывает электрические параметры сети, такие как сопротивление проводов, индуктивность и ёмкость. Она также учитывает динамические эффекты, такие как электромагнитные поля и изменение напряжения и тока во времени.

Система дифференциальных уравнений, описывающая изменение напряжения и тока во времени, может быть записана следующим образом:

$$\frac{dV}{dt} = -\left(\frac{1}{C}\right) * I, \quad (9)$$

$$\frac{dI}{dt} = \left(\frac{1}{L}\right) * V - \left(\frac{R}{L}\right) * I, \quad (10)$$

где V – напряжение в цепи (вольты), I – ток в цепи (амперы), t – время (секунды), C – ёмкость (фарады), L – индуктивность (генри); R – сопротивление (омы).

Эти уравнения могут быть использованы для моделирования и анализа электрических цепей и устройств. Для создания математической модели передачи энергии с использованием метода наведенного напряжения и воздушного трансформатора от контактной сети российских железнодорожных путей, можно рассмотреть следующие шаги:

1. Определение параметров системы:
 - Напряжение и частота контактной сети российских железнодорожных путей.
 - Расстояние между источником энергии и приемником.
 - Электрические и геометрические параметры трансформатора.
2. Расчет параметров трансформатора:
 - Определение индуктивности и емкости трансформатора.
 - Расчет активного и реактивного сопротивления трансформатора.
 - Определение коэффициента преобразования трансформатора.
3. Расчет параметров передачи энергии:
 - Определение токов и напряжений на стороне источника энергии и приемника.
 - Расчет активной и реактивной мощности передачи энергии.
4. Расчет потерь энергии в системе:
 - Определение активных и реактивных потерь в трансформаторе и проводниках.
5. Анализ эффективности передачи энергии:
 - Определение КПД системы передачи энергии.
 - Определение потерь энергии на промежуточном расстоянии.
6. Определение параметров электромагнитного поля:
 - Расчет индуктивности путевой сети.
 - Определение влияния электромагнитного поля на окружающую среду.

Такая модель является общей и для полного расчета и анализа требуются более детальные и точные данные о параметрах системы передачи энергии. Также важно учесть особенности конкретного воздушного трансформатора и его взаимодействие с контактной сетью российских железнодорожных путей.

В заключении можно подчеркнуть несколько ключевых моментов.

Во-первых, разработанная методика моделирования позволяет оценить эффективность и надежность бесконтактной передачи энергии. Она основывается на определении оптимальных параметров системы и других аспектов необходимых для учета погрешностей при расчете математической модели такого способа передачи энергии. Во-вторых, проведенные исследования показывают, что бесконтактная передача возможна методом наведенного напряжения при использовании воздушного трансформатора.

Наконец, исследования также указывают на возможность улучшения существующих методик передачи энергии и разработке новых, более эффективных технологий. Это может привести к созданию экологически чистых и устойчивых систем передачи энергии, которые смогут удовлетворить потребности современного общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротеев В. И., Рыжков В. М. Инженерные основы электротехники : учеб.-метод. пособие. М. : НИЯУ МИФИ, 2020. 256 с.
2. Юдаев И. В. История развития электроэнергетики, электротехнологий и электрооборудования : учебник. Самара : СамГАУ, 2021. 462 с.
3. Федин В. Т. Инновационные технические решения в системах передачи электроэнергии : монография. Минск : БНТУ, 2012. 222 с.
4. Лозовский В. Н. Курс физики : учебник : в 2 т. 6-е изд., испр. и доп. СПб. : Лань, 2022. Т. 1. 576 с.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПРОВЕРКИ СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Антон Владимирович Волков¹, Елена Дмитриевна Семяхина²

^{1,2}Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Увеличенная эксплуатационная надежность, которая достигается за счет необходимого запаса прочности, заложенной при проектировании, а также действующей в ОАО «РЖД» планов предупредительной системы технического обслуживания и ремонта, предусматривает применение в технологических процессах методы диагностирования и средств неразрушающего контроля (НК) ответственных узлов и деталей [1, 2]. Процессы образования и роста дефектов в период эксплуатации ставят под угрозу безаварийную эксплуатацию подвижного состава. Обеспечение безопасности движения за счет своевременного обнаружения заводских и усталостных дефектов в ответственных элементах подвижного состава приносит огромный экономический эффект и служит сохранению человеческих жизней.

Безопасность движения на железнодорожном транспорте определяется в значительной степени эксплуатационной надежностью пути и подвижного состава. Одним из ответственных элементов вагона являются колёсные пары. Конструкция и техническое состояние колёсных пар оказывают влияние на плавность хода, величину сил, возникающих при взаимодействии вагона и пути, и сопротивление движению. Поэтому к ним предъявляют особые, повышенные требования. Для достижения этой цели применяют различные виды неразрушающего контроля.

Процесс неразрушающего контроля включает в себя несколько методов, таких как ультразвуковая дефектоскопия, магнитопорошковая дефектоскопия, цветная дефектоскопия и рентгенография [3, 4]. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки и применяется в зависимости от материала детали, вида дефекта и условий эксплуатации.

Методы неразрушающего контроля позволяют выявлять поверхностные и внутренние скрытые дефекты, либо вскрыть такие особенности, которые влекут за собой определенную ненадежность изделий, не искажая параметров и структуру детали [5]. Они позволяют исследовать изделия в процессе их разработки, производства, испытаний и эксплуатации, а также могут применяться для оценки качества технологических процессов и обработки изделий, не удовлетворяющих требованиям технического задания. Методы НК должны отвечать следующим основным требованиям: носить действительно неразрушающий характер, обладать достаточной чувствительностью и разрешающей способностью. Под чувствительностью методов неразрушающего контроля понимается способность надежно, с заданной вероятностью выявить визуально или с применением специальных устройств, в определенных условиях, минимальный по размерам (ширине, глубине, длине) дефект.

Вихретоковый метод основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля [6]. В качестве источника электромагнитного поля чаще всего используется индуктивная катушка с синусоидальным током, называемая вихретоковым преобразователем.

Акустический метод основан на излучении и последующем анализе параметров высокочастотных упругих механических колебаний (ультразвуковых волн), прошедших через контролируемое изделие [7, 8]. Этот метод также называют ультразвуковым контролем. Многообразие задач, возникающих при необходимости проведения

неразрушающего контроля различных изделий тягового подвижного состава, привело к разработке и использованию ряда различных акустических методов контроля.

Ультразвуковой пьезокерамический излучатель представляет собой ультразвуковой преобразователь, содержащий соединенные стяжным элементом отражающую накладку, активную зону из пьезокерамических кольцевых пластин, разделенных контактными электродами, и излучающую накладку, соединенную с согласующим промежуточным элементом.

К основным параметрам устройств относится сопротивление и проводимость. Также учитывается допустимая величина частоты. По конструкции устройства могут отличаться.

Схема устройства управления представлена на рис. 1 и содержит пьезодатчик, измерительный преобразователь и модуль АЦП – это те элементы схемы, которые используются для фиксации показателей о наличии дефектов в проверяемой детали. Тестовый сигнал формируется за счёт модуля ЦАП задающего генератора полумостового драйвера, а также излучателя Ланжевена.

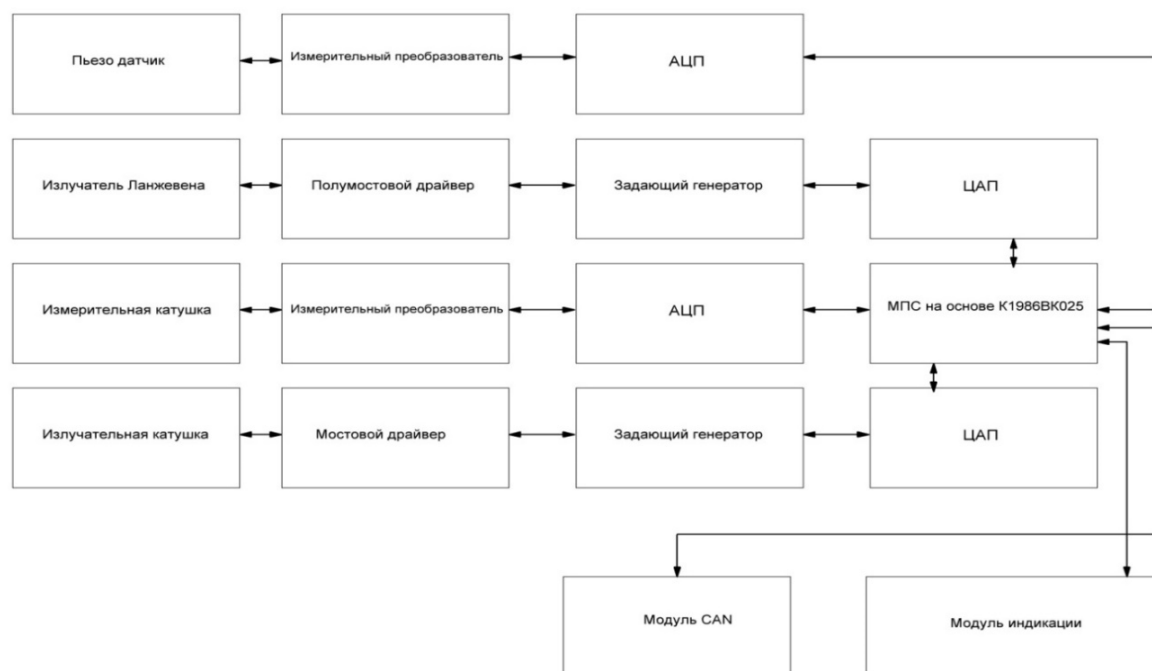


Рис. 1. Схема устройства управления

Для организации вихретокового метода измерения параметров дефектов детали используется излучающая катушка, которая формирует тестовый сигнал за счет мостового драйвера задающего генератора и модуля ЦАП, в свою очередь тестовый сигнал фиксируется за счёт измерительной катушки, измерительного преобразователя и модуля АЦП.

После запуска измерения сначала проводятся два измерения ультразвуковым датчиком, потом проводятся два измерения вихретоковым датчиком, после чего результаты измерений сравниваются в модуле микроконтроллера K1986BK025, затем результаты вычислений выводятся на дисплей модуля индикации и передаются по модулю CAN шины.

На рис. 2 представлено окно программы поиска дефекта внутри детали двумя методами одновременно: на первом графике изображён сигнал, принимаемый измерительной катушкой, а на втором графике представлен пик, получаемый пьезодатчиком от проверяемого изделия (значения на графиках представлены в относительных единицах).

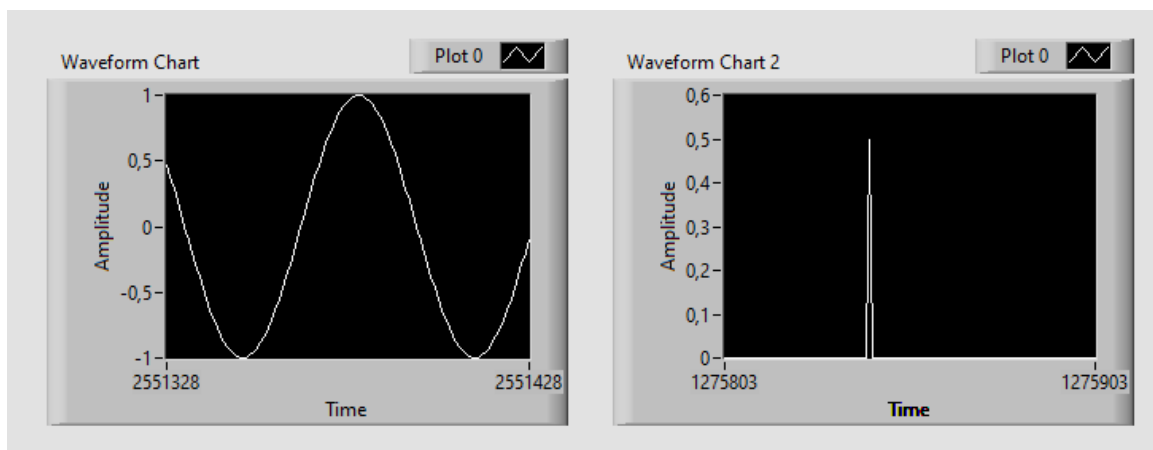


Рис. 2. Графики, получаемые в результате измерения одновременно двумя методами

Неразрушающий контроль позволяет оценить качество продукции без нарушения ее целостности, имеет широкий диапазон возможностей, а также предназначен для выявления дефектов, контроля геометрических параметров, оценки физико-химических свойств материала, и других параметров. Перечень вагонных деталей и узлов, подлежащих контролю, весьма широк.

Как бы ни был совершенен метод какого-либо вида контроля, он не обеспечивает в полной мере решение задачи обнаружения дефектов любого типа или вида. Поэтому при контроле ответственных деталей подвижного состава с целью большей полноты и глубины контроля применяют систему неразрушающего контроля, представляющую совокупность нескольких методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Печерская Е. А. Математические модели предметной области при исследовании параметров материалов нано- и микроэлектроники // Университетское образование : сб. ст. XV Междунар. науч.-метод. конф., посвящ. 50-летию полета первого космонавта Ю. А. Гагарина / под ред. В. И. Волчихина, Р. М. Печерской. Пенза, 2011. С. 436–438.
2. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В., Козлов Г. В., Печерский А. В. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 2 (28). С. 99–107.
3. Печерская Е. А., Попченков Д. В., Соловьев В. А. Систематизация показателей качества высокотемпературных тонкопленочных тензорезисторов // Инновационные информационные технологии. 2012. № 1. С. 302–305.
4. Голубков П. Е., Печерская Е. А., Мартынов А. В. Применение инструментов контроля качества для анализа процесса микродугового оксидирования // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : тез. докл. Третьей всерос. молодеж. науч. конф. Тамбов, 2018. С. 111–113.
5. Коркина С. В., Жебанов А. В. Проектирование предприятий по техническому обслуживанию и ремонту вагонов : учеб.-метод. пособие : в 2 ч. Самара : СамГУПС, 2020. Ч. 2 : Организация и технологический процесс ремонта грузовых и пассажирских вагонов в вагоноремонтных депо. 180 с.
6. Чередов А. И., Щелканов А. В. Физические методы неразрушающего контроля : учеб. пособие. Омск : ОмГТУ, 2022. 136 с.
7. Мордасов Д. М., Мордасов М. М. Струйно-акустические эффекты в методах неразрушающего контроля вещества. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. 112 с.
8. Петров О. Н., Сокольников А. Н., Верещагин В. И., Агровиченко Д. В. Методы неразрушающего контроля : учеб. пособие. Красноярск : СФУ, 2021. 132 с.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА ТИПА КТ345Б НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ УСИЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Егор Андреевич Першин¹, Диана Евгеньевна Тузова²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение

В электронике и электротехнике нового поколения все более актуальной темой становятся достижения цифровой и аналоговой микросхемотехники. Приборы, произведенные на основе микросхем, стали проникать даже в те отрасли, где ранее применение подобных способов модернизации устройств не применялось из-за дороговизны и сложности производства. Знание способов включения и режимов работы транзисторов, анализа транзисторных схем и методик построения цепей представляют собой фундамент основных умений каждого инженера, ведь современные микросхемы в большинстве своем – транзисторные схемы, расположенные в одном общем корпусе с внешними выводами [4].

Усилитель – устройство, в которых маломощный входной сигнал управляет передачей значительно большей мощности из источника питания в нагрузку [2]. Наиболее распространенными усилителями в данный момент являются усилители, созданные на биполярных и полевых транзисторах. Чаще всего усилители применяются в приборах в виде готового неделимого устройства. На вход усилителя могут подаваться разные виды сигналов – непрерывно изменяющиеся величины в виде гармонических колебаний, однополярные и двухполярные импульсы. Сигналы, подаваемые на усилитель, пропорциональны соответствующим им физическим величинам. В статических режимах большинство физических величин постоянно или едва изменяются. Но в других режимах (переходных и аварийных) величины могут изменяться очень быстро. Из-за этих нюансов усилители должны обладать способностью усиления как постоянных, так и переменных величин [6].

Усилительный каскад – это простейшая ячейка, позволяющая осуществить усиление. *Каскад с общим эмиттером* (каскад ОЭ) является одним из самых популярных усилительных каскадов на биполярных транзисторах. Общим электродом для выходной и входной цепей в таком каскаде является эмиттер. Выходное напряжение, возникающее в усилителе, создается с помощью резистора R_k , который включается в коллекторную цепь транзистора [5].

Расчет принципиальной схемы усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером позволяет качественно оценивать параметры схемы и усилителя в целом. В наше время практически ни одно современное устройство не обходится без усилителя напряжения. Особенно актуальны усилители низкой частоты, которые чаще всего применяются для усиления звуковых или информационных сигналов в различных сферах электроники и микросхемотехники [3]. С развитием усилительной техники выросли требования к качеству и работоспособности усилителей. В связи с этим исследование и расчет базовых схем и элементов усилителей является актуальной задачей, имеющей практическое значение [1].

Расчет усилителя напряжения низкой частоты

Для полного понимания принципов работы усилителя низкой частоты следует первоначально произвести расчет его каскадов на транзисторе.

В усилительный каскад на биполярном транзисторе с общим эмиттером (рис. 1) в нашем случае входит транзистор типа КТ345Б.

Транзистор типа КТ345Б имеет соответствующие характеристики, указанные в таблице (табл. 1).

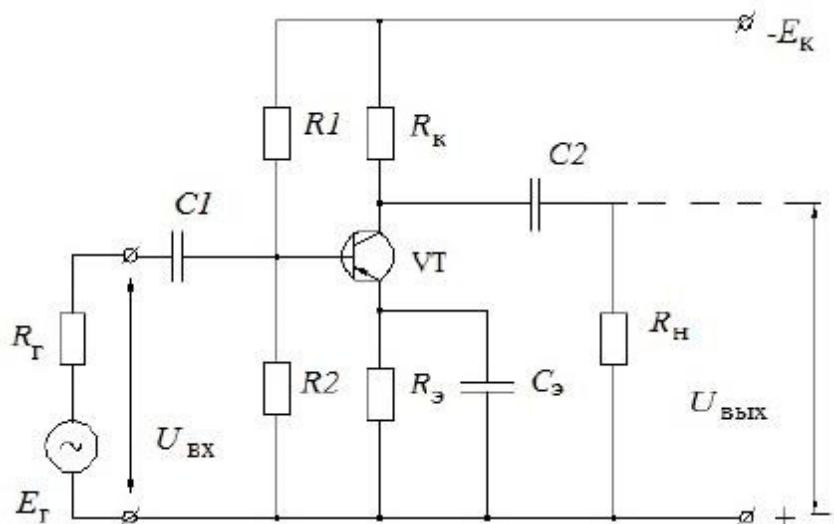


Рис. 1. Принципиальная схема усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером [6]

Таблица 1

Параметр	Значение	Размерность
Максимально допустимое (импульсное) напряжение коллектор-база	20	В
Максимально допустимое (импульсное) напряжение коллектор-эмиттер	20	В
Максимально допустимый постоянный(импульсный) ток коллектора	200(300)	мА
Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора без теплоотвода (с теплоотводом)	0.3	Вт
Статический коэффициент передачи тока биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером	≥ 50	–
Обратный ток коллектора	≤ 0.5	мкА
Граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером	≥ 350	МГц

Для удобства измерений и расчета каскада используются следующие параметры схемы:

- Структура $p-n-p$;
- Входное напряжение $U_{вх} = 180$ мВ
- Коэффициент усиления по напряжению $K_U = 2$
- Напряжение источника питания $E_K = 10$ В Нижняя частота $f_H = 210$ Гц
- Напряжение коллектор – эмиттер $U_{кэ0} = 5$ В
- Максимальное входное напряжение коллектор – эмиттер $U_{вх.макс.кэ} = 20$ В
- Статический коэффициент перехода тока с общим эмиттером для малого сигнала

$$h_{21Э} = 5.$$

1) Для данного типа транзистора статический коэффициент перехода тока с общим эмиттером для малого сигнала $h_{21Э} = 50$.

Согласно справочным материалам максимально допустимое значение напряжения коллектор- эмиттер $U_{ВХ.мах.кэ} = 20 \text{ В}$.

2) Расчет выходного напряжения:

$$U_{вых} = U_{вх} K_U \quad (1)$$

$$U_{вых} = 180 \cdot 2 = 360 \text{ мВ} \quad (2)$$

Для нахождения амплитуды тока коллектора $I_{км}$ было выбрано сопротивление коллектора $R_K = 0,5 \text{ кОм}$ из условия: $R_K \approx (0,5 \div 2) \text{ кОм}$.

$$I_{км} = \frac{U_{вых}}{R_H} \quad (3)$$

$$I_{км} = \frac{360}{25} = 14,4 \text{ мА} \quad (4)$$

$$R_H \approx 0,05 R_K \quad (5)$$

где R_H – сопротивление нагрузки

3) Определение постоянной составляющей тока $I_{к0}$. Предварительно выбрали значение коэффициента запаса из условия: $K = (0,7 \text{ до } 0,95)$.

$$I_{к0} \geq \frac{I_{км}}{k_3}, \quad (6)$$

$$I_{к0} \geq \frac{14,4}{0,8}. \quad (7)$$

По координатам ($I_{к0}$; $U_{кэ0}$) отметили рабочую точку ОА на выходных характеристиках транзистора. Перенесли рабочую точку ОА на входные характеристики транзистора, для нахождения тока базы $I_{б0}$. Для вычисления входного сопротивления транзистора $R_{ВХ}$ провели касательную в рабочей точке ОА ближе к криволинейному участку (рис. 2).

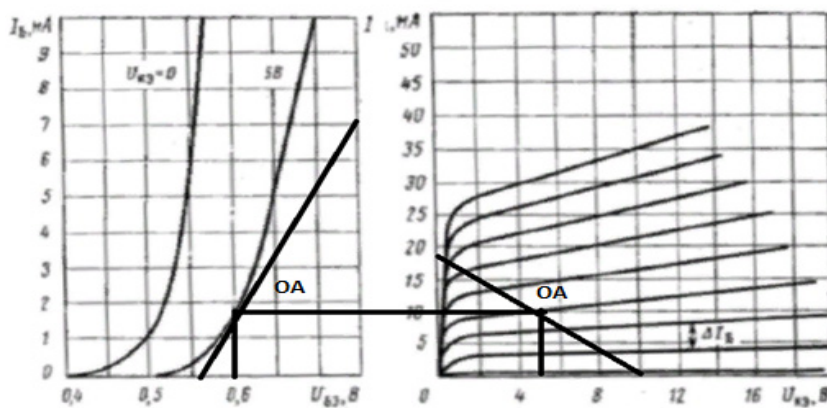


Рис. 2. Входные и выходные характеристики транзистора КТ345Б

4) Определение входного сопротивления:

$$R_{вхэ} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_б} \quad (8)$$

$$R_{\text{ex}3} = \frac{19}{7 \cdot 10^{-3}} = 27,14 \text{ Ом} \quad (9)$$

5) Нахождение общее сопротивление коллекторной цепи постоянного тока:

$$R_{\kappa} + R_3 \approx \frac{E - [U_{\text{кэо}}]}{I_{\text{ко}}} \quad (10)$$

$$R_{\text{общ}} \approx \frac{10 \text{ В} - 5 \text{ В}}{1,75 \text{ мА}} = 2857 \text{ Ом} \quad (11)$$

6) Расчет коэффициента усиления каскада без отрицательной обратной связи:

$$K_{\text{безООС}} = h_{213} \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{ex}3}} \quad (12)$$

$$K_{\text{безООС}} = 50 \frac{25 \text{ Ом}}{27,14 \text{ Ом}} = 46,06 \quad (13)$$

Коэффициент усиления каскада с отрицательной обратной связью будет равен коэффициенту усиления по напряжению ($K_{\text{ООС}} = K_U = 2$). Расчёт коэффициента передачи цепи обратной связи с ООС:

$$\gamma = \frac{K_{\text{безООС}} - K_{\text{ООС}}}{K_{\text{безООС}} K_{\text{ООС}}} \quad (14)$$

$$\gamma = \frac{46,06 - 2}{46,06 \cdot 2} \quad (15)$$

Расчет сопротивления эмиттера:

$$R_3 = \frac{\gamma R_{\text{н}} h_{213}}{h_{213} + 1} \quad (16)$$

$$R_3 = \frac{0,48 \cdot 25 \text{ Ом} \cdot 50}{50 + 1} = 11,76 \quad (17)$$

7) Расчет сопротивления базы:

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{Б}} - R_3 \quad (18)$$

$$R_{\text{Б}} = R_{\text{общ}} + R_3 = 2857 \text{ Ом} + 11,76 \text{ Ом} = 2868,76 \text{ Ом} \quad (19)$$

8) Определение сопротивления резисторов в цепи каскада, выполненной на биполярном транзисторе с общим эмиттером :

$$R_1 = \frac{E_{\kappa} - (I_{\text{ко}} + I_{\text{бо}}) R_3}{I_{\text{бо}}} \quad (20)$$

$$R_1 = \frac{10 - (18 \cdot 10^{-3} + 1,75 \cdot 10^{-3}) \cdot 11,76}{1,75 \cdot 10^{-3}} = 5581,6 \text{ Ом} \quad (21)$$

$$R_1 \approx R_2 \approx 5581,6 \text{ Ом} \quad (22)$$

9) Расчет внутреннего сопротивления цепи источника сигнала

$$\frac{1}{R_{\text{и}}} = \frac{1}{R_{\kappa}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (23)$$

$$\frac{1}{R_u} = \frac{1}{0,5} + \frac{1}{5,581} + \frac{1}{5,581} = 2,36 \quad (24)$$

$$R_{уст} = \frac{1}{2,36} = 0,42 \text{ кОм} = 420 \text{ Ом} \quad (25)$$

Определение ёмкости блокировочного конденсатора

$$C_9 \geq \frac{h_{21э}}{2\pi f_n (R_u + R_{вхэ}) \sqrt{M_{C_9}^2 - 1}} \quad (26)$$

$$C_9 \geq \frac{50}{2 \cdot 3,14 \cdot 210 \cdot (420 + 27,14) \cdot \sqrt{1,09^2 - 1}} = 135 \text{ мкФ} \quad (27)$$

где $M_{C_9}^2 \approx 1,09$ – коэффициент частотных искажений.

10) Определение ёмкости разделительных конденсаторов, с учётом того, что выходное сопротивление делителя $R_{вых д} = 0$.

$$C_1 \geq \frac{1}{2\pi f_n (R_{вхэ} + R_{вых д}) \sqrt{M_{C1}^2 - 1}} \quad (28)$$

$$C_1 \geq \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 210 \cdot 27,14 \cdot \sqrt{1,09^2 - 1}} = 64,4 \text{ мкФ} \quad (29)$$

$$C_2 \geq \frac{1}{2\pi f_n (R_n + R_k) \sqrt{M_{C2}^2 - 1}} \quad (30)$$

$$C_2 \geq \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 210 \cdot (25 + 500) \cdot \sqrt{1,09^2 - 1}} = 333 \text{ мкФ} \quad (31)$$

где $M_{C1} = M_{C2} \approx 1,09$.

11) Определение общего входного сопротивления усилителя:

$$R_{вх ус} = R_{вх э} + R_9 (h_{21э} + 1) \quad (32)$$

$$R_{вх ус} = 27,14 + 11,76 \cdot (50 + 1) = 626,9 \text{ Ом} \quad (33)$$

Вывод

Изучение усилителя напряжения может представлять некоторые трудности для неопытных студентов и инженеров. Разбор элементов усилителя и расчет его параметров приблизит к пониманию схемы этого электронного устройства. Таким образом, рассчитанная принципиальная схема усилительного каскада на биполярном транзисторе типа КТ345Б с общим эмиттером позволит качественно оценивать параметры схемы и усилителя низкой частоты в целом. А так же сделает возможным сравнение полученных величины каскада, с другими величинами элементов схем усилителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богачев Н. Е. Специализированный усилитель низкой частоты на операционном усилителе // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2016. № 2. С. 7–14.
2. Дмитриев Г. В. Измерительный усилитель напряжения // Символ науки. 2019. № 7. С. 25–32.
3. Ильичев В. П. Исследование энергетических показателей усилителя низкой частоты при различной точности регулирования напряжения анодного питания // Информсвязь. 2002. № 5. С. 10–16.

4. Лукьяненко Е. Б., Бондарчук Б. А. Метод входного контроля биполярных транзисторов с определением цоколевки и типа транзистора // Электротехнические комплексы и системы управления. 2013. № 4. С. 50–53.

5. Пилипенко А. М., Бирюков В. Н. Методы повышения точности моделирования усилительных каскадов приемопередающих устройств в частотной области // Радиотехника, электроника и связь. 2013. № 8. С. 308–313.

6. Савельев С. В. Математическая модель мощного усилительного каскада на биполярном транзисторе // Журнал радиоэлектроники. 2017. № 6. С. 1–7.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА В КОД

Василий Николаевич Ашанин¹, Сергей Евгеньевич Ларкин²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Ёмкостные датчики являются важными элементами в различных технических решениях. Конструктивно, современный датчик состоит из рабочего C_x , и опорного C_0 элементов, что позволяет использовать дополнительную информацию для коррекции погрешности измерения. Ёмкостной датчик подключают к активному преобразователю на операционном усилителе (ОУ).

В этом случае преобразование пассивных параметров датчика в активные величины приводит к возникновению инструментальной погрешности от неидеальности используемого для этого ОУ. Для снижения погрешности преобразования наибольшее применение нашли структурные методы повышения точности [1–3]. Однако используемые на настоящий момент способы преобразования не позволяют существенно снизить эту погрешность, так как при её оценке коэффициент усиления K_y операционного усилителя представляется действительным числом. На самом деле коэффициент усиления является комплексным параметром [4], и в активной полосе частот рассчитывается из выражения $\underline{K}_y = K_y/j$, где j – мнимая единица.

Предложена измерительная цепь и алгоритм преобразования информативного параметра ёмкостного датчика в код на основе микроконтроллера (МК), приведенная на рис. 1 [5]. Здесь БФН – блок формирования напряжений, У – усилитель, C_x и C_0 – рабочая и опорная емкости датчика, R – сопротивление обратной связи усилителя.

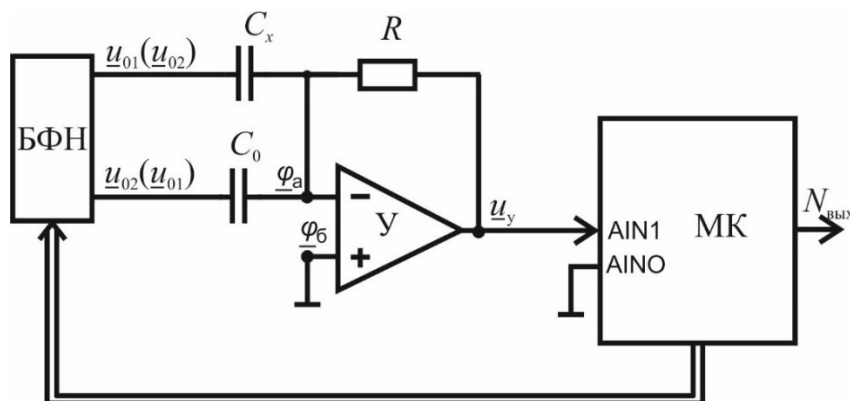


Рис. 1. Измерительная цепь ёмкостного датчика

При практической реализации измерение выходных напряжений усилителя предложено осуществлять с помощью встроенных аналого-цифровых преобразователей

AIN0 и AIN1. Микроконтроллер управляет всеми режимами работы: процессом формирования двух синусоидальных напряжений и их переключением, определением моментов времени измерения напряжений, а также необходимыми вычислениями.

Прежде всего МК обеспечивает формирование на выходе БФН двух комплексных ортогональных напряжений $\underline{u}_{01}$ и $\underline{u}_{02}$ на C_x и C_0 соответственно

$$\underline{u}_{01} = U_0 e^{j\omega t} \quad \underline{u}_{02} = U_0 e^{j(\omega t + 90^\circ)} = j\underline{u}_{01},$$

где U_0 – амплитудное значение мгновенных комплексных мгновенных напряжений $\underline{u}_{01}$ и $\underline{u}_{02}$.

При формировании указанных напряжений осуществляется фазовое управление по шине изменением напряжений на выходе БФН. Выходное напряжение усилителя может быть найдено из системы уравнений

$$\begin{aligned} \underline{\varphi}_a \left(j\omega C_x + j\omega C_0 + \frac{1}{R} \right) &= \frac{\underline{u}_y}{R} + \underline{u}_{01} j\omega C_x + \underline{u}_{02} j\omega C_0 \\ \underline{\varphi}_\phi - \underline{\varphi}_a &= \frac{\underline{u}_y}{\underline{K}_y}. \end{aligned} \quad (1)$$

Подставим второе уравнение системы (1) в первое и учтем, что электрический потенциал на неинвертирующем входе ОУ $\underline{\varphi}_\phi = 0$ В, а коэффициент усиления имеет комплексное значение. Тогда

$$\begin{aligned} \underline{u}_y (\alpha - j\beta) &= -\underline{u}_{01} C_0 + \underline{u}_{02} C_x, \\ \text{где } \alpha &= -\frac{1}{K_y \omega R}; \quad \beta = \frac{C_x}{K_y} + \frac{C_0}{K_y} - \frac{1}{\omega R}. \end{aligned}$$

После некоторых преобразований выходное напряжение усилителя может быть найдено из выражения

$$\underline{u}_y = \underline{u}_{01} C_x (A + jB) + j\underline{u}_{01} C_0 (A + jB).$$

$$\text{Здесь } A = \frac{\alpha}{\alpha^2 + \beta^2}; \quad B = \frac{\beta}{\alpha^2 + \beta^2}.$$

Перегруппируем слагаемые

$$\underline{u}_y = U_0 e^{j\omega t} (C_x A - C_0 B) + jU_0 e^{j\omega t} (C_x B + C_0 A).$$

Микроконтроллер производит измерение выходных напряжений усилителя в два момента времени: при $t = 0$ и $t = T/4$. При этом в первом случае выделяется мнимая составляющая приведенного выражения и выходное напряжение ОУ, фиксируемое МК, равно

$$U_1 = U_0 (C_x B + C_0 A). \quad (2)$$

Второй раз микроконтроллер фиксирует напряжение в момент времени $t = T/4$. В этом случае выделится действительная составляющая выходного напряжения ОУ

$$U_2 = U_0 (C_x A - C_0 B). \quad (3)$$

После этого производится переключение подаваемых напряжений с БФН и на C_x будет подаваться $\underline{u}_{02}$, а на C_0 – $\underline{u}_{01}$. Выходное напряжение усилителя будет равно

$$\underline{u}_y = U_0 e^{j\omega t} (C_0 A - C_x B) + jU_0 e^{j\omega t} (C_0 B + C_x A)$$

Повторно измеряются выходные напряжения с выхода ОУ при $t = 0$ и $t = T/4$, которые будут равны соответственно

$$U_3 = U_0 (C_0 B + C_x A), \quad (4)$$

$$U_4 = U_0 (C_0 A - C_x B). \quad (5)$$

Числовое значение отношения емкостей датчика $N_{\text{вых}}$, которое рассчитывает контроллер, может быть получено из выражений (2) – (5)

$$N_{\text{вых}} = \frac{C_x}{C_0} = \frac{U_2 + U_3}{U_1 + U_4}. \quad (6)$$

Итак, предложенный способ повышения точности заключается в формировании двух ортогональных синусоидальных напряжений на рабочей и опорной емкостях датчика, измерении двух выходных напряжений усилителя в моменты времени $t = 0$ и $t = T/4$, причем такие измерения проводятся дважды с переключением входных напряжений, а числовое значение отношения емкостей определяется по результатам значений измеренных напряжений по формуле (6). При реализации предложенного алгоритма обеспечивается независимость результата преобразования от значения коэффициента усиления ОУ и сопротивлений потерь опорной и рабочей емкостей датчика, что обеспечивает повышение точности измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арбузов В. П. Структурные методы повышения точности измерительных цепей емкостных и индуктивных датчиков : монография. Пенза : Информ.-изд. центр ПГУ, 2008. 230 с.
2. Ашанин В. Н., Ларкин С. Е., Регеда О. Н. Коррекция погрешности измерительных цепей параметрических датчиков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2016. № 2 (16). С. 103–109.
3. Мартяшин А. И., Шахов Э. К., Шляндин В. М. Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения. М. : Энергия, 1976. 392 с.
4. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы : пер. с англ. М. : Мир, 1988. 583 с.
5. Пат. 2795381, Российская Федерация кл. G 01 R 27/26. Способ определения емкости датчика и измерительная цепь для его осуществления / Ашанин В. Н., Ларкин С. Е. ; опубл. 03.05.2023.

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ $\Sigma\Delta$ -АЦП С ЦИФРОВОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ОТ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ

Василий Николаевич Ашанин¹, Алексей Александрович Коротков²

¹Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

² Научно-исследовательский институт электромеханических приборов,
г. Пенза, Россия

При реализации интегрирующих АЦП (ИАЦП) в промежуточном преобразовании возможно использование различных видов импульсной модуляции [1]. При этом, всем существующим структурно-алгоритмическим решениям ИАЦП присуща погрешность от краевых эффектов, вызванная несовпадением кодового эквивалента длительности

полного цикла преобразования сумме кодовых эквивалентов длительностей частных циклов, полностью уместающихся в полном [1, 2]. Обеспечить компенсацию этой составляющей методической погрешности преобразования возможно использованием аналоговых, цифровых и комбинированных (аналого-цифровых) методов [3–6].

Подобные ИАЦП с промежуточной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) напряжения получили название ΣT -АЦП. Важно отметить их положительное свойство, отличающую их от распространённых $\Sigma \Delta$ -АЦП, а именно – способность синхронизировать результат измерения с моментом преобразования входного напряжения в код.

С учётом существующих в настоящее время технологических возможностей аппаратной реализации прототипа, например, с использованием программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) или базового матричного кристалла (БМК), наиболее перспективным решением представляется разработка и исследование прототипа ΣT -АЦП с цифровой компенсацией погрешности.

В ходе исследования погрешности от краевых эффектов и методов её компенсации, была разработана имитационная Simulink-модель, соответствующая функциональной схеме ΣT -АЦП (рис. 1) с введением элементов цифровой коррекции погрешности от краевых эффектов [3], включающая следующие блоки: ФВФ₀ – формирователь весовой функции для опорного напряжения $g_0(t)$; P_0 – перемножитель опорного напряжения U_0 на весовую функцию $g_0(t)$; P_x – перемножитель преобразуемого напряжения u_x на весовую функцию $g_x(t)$; ФВФ_x – формирователь весовой функции для преобразуемого напряжения $g_x(t)$; И – интегратор; УС – устройство сравнения; ФПУ – формирователь порогового уровня; УУ – устройство управления; ЦИ – цифровой интегратор (счетчик импульсов); ГОЧ – генератор опорной (тактовой) частоты; логические элементы И1-И16, счетчики импульсов СЧ1-СЧ8, устройство ввода поправки – УВП.

В работе [3] приведено подробное описание алгоритма функционирования и модельной реализации в среде Matlab. Результаты экспериментов показали, что значение среднеквадратичного отклонения от линейной функции преобразования в единицах младшего значащего разряда сократилось более чем на два порядка.

Исследованный метод может быть реализован как с использованием БМК, так и ПЛИС. С точки зрения разработки прототипа в условиях ограниченных ресурсов представляется, что использование ПЛИС является более рациональным вариантом. Для загрузки Simulink-модели ΣT -АЦП на ПЛИС необходимо использовать специальное программное обеспечение, такое как HDL Coder или Vivado.

Общий процесс загрузки Simulink-модели ΣT -АЦП на ПЛИС можно охарактеризовать следующими этапами:

1. Создание модели ΣT -АЦП в пакете Simulink программной среды Matlab, используя блоки, соответствующие требованиям проекта.
2. Использование HDL Coder для генерации кода HDL из разработанной Simulink-модели ΣT -АЦП. HDL Coder преобразует созданную модель в код VHDL или Verilog, в зависимости от навыков программирования и наличия конкретного наименования ПЛИС.
3. Импортирование сгенерированного кода HDL в среду разработки ПЛИС, например, Vivado.
4. В среде разработки ПЛИС необходимо настроить проект ΣT -АЦП, указав целевую ПЛИС, настройки синтеза, маппинга и размещения.
5. Генерация битового файла (Bitstream) из проекта ΣT -АЦП в среде разработки ПЛИС.
6. Загрузка сгенерированного битового файла на ПЛИС, используя соответствующую программу загрузки, такую как Xilinx Impact или Vivado Hardware Manager.

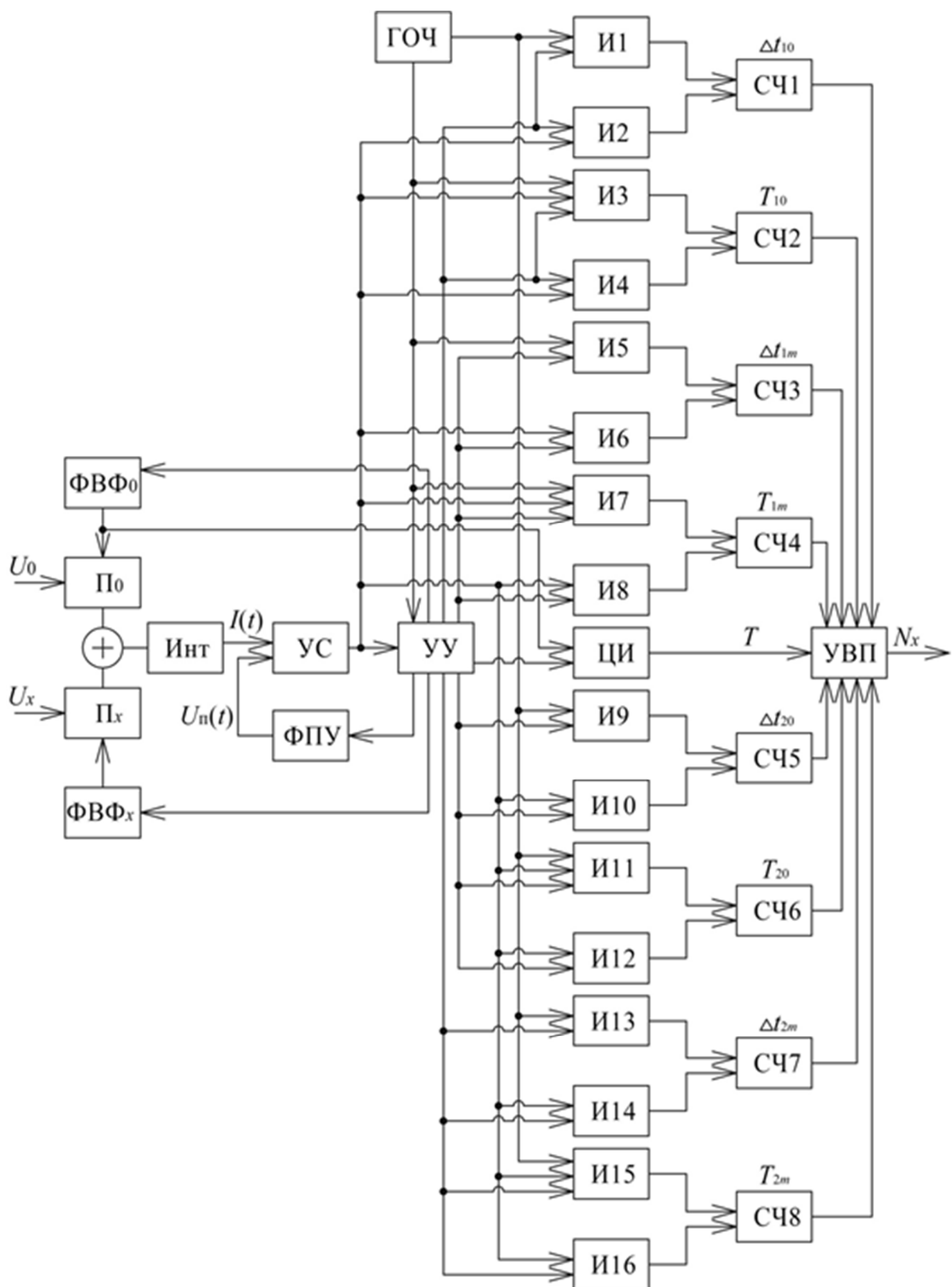


Рис. 1. Функциональная схема ΣT -АЦП с введением поправки в цифровом виде

Таким образом, выполнив приведённые операции, Simulink-модель загружается на выбранную ПЛИС.

Разработанная Simulink-модель Σ T-АЦП с цифровой компенсацией погрешности после выполнения описанных программных операций была переведена в VHDL код. Для преобразования было использовано интегрированное в Simulink приложение HDL Coder. В качестве языка программирования был выбран VHDL, что обусловлено его «жесткой» формализацией, обеспечивающей потенциально большую совместимость с доступными ПЛИС. Побочным эффектом такой формализации можно отметить сложность редактирования проекта. В настоящее время ведётся подбор платы ПЛИС по характеристикам проекта и количеству задействованных ячеек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахов Э. К., Михотин В. Д. Интегрирующие развертывающие преобразователи. М. : Энергоатомиздат, 1986. 144 с.
2. Ашанин В. Н., Чувькин Б. В., Шахов Э. К. Теория интегрирующего аналого-цифрового преобразования : монография. Пенза : Информ.-издат. центр ПГУ, 2009. 214 с.
3. Ашанин В. Н., Коротков А. А. Разработка интегрирующего Σ T-аналого-цифрового преобразователя с коррекцией погрешности от краевых эффектов в цифровой форме // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2017. № 3 (23). С. 139–150.
4. Ashanin V. N., Korotkov A. A. Development of Sigma-T ADC with Analogue Compensation of Error Caused by Edge Effects // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). IEEE, 2017. P. 5.
5. Ashanin V. N., Korotkov A. A. Research of the sigma-T analog-to-digital converter with combined compensating of the error from edge effects // 4th the International Conference on the Transformation of Education. London, U. K., 24–30 April 2016. London, 2016. P. 6–17.
6. Коротков А. А. Разработка интегрирующего аналого-цифрового преобразователя с передискретизацией сигнала с промежуточной широтно-импульсной модуляцией в составе информационно-измерительных систем // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2020. № 3. С. 60–68.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОЛЯРИЗАЦИЮ АКТИВНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Никита Сергеевич Емельянов

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

В настоящее время развитие нано- и микроэлектроники связано с использованием активных диэлектриков, которые находят широкое применение в высокочувствительной датчиков аппаратуре. Актуальной проблемой является повышение воспроизводимости свойств активных диэлектриков, исследование влияния на нее технологических параметров и температурного влияния [1]. Важно исследовать влияние высоких температур на различные сегнетоэлектрические материалы, поскольку под влиянием температуры в активных диэлектриках появляются уникальные свойства. Так, например, стеклокерамические образцы демонстрируют значительное увеличение диэлектрической проницаемости и снижение потерь после высокотемпературной обработки в кислороде [2]. Существует много различных методов исследования влияния температуры на характеристики сегнетокерамики [3].

При температуре ниже фазового перехода в сегнетоэлектрической фазе при использовании соотношений Мерца изменение напряженности электрического поля влечет за собой изменение спонтанной поляризации и деформаций [4]. При нагревании образца диэлектрическая проницаемость уменьшается, поскольку при тепловом расширении уменьшается число объектов поляризации в единице объема [5].

Для повышения достоверности результатов измерений параметров активных диэлектриков и подробного изучения влияния температуры на поляризацию сегнетоэлектриков предлагается создание программно-аппаратного комплекса для измерений электрических параметров активных диэлектриков и изделий на их основе. Это возможно благодаря установки термокамеры (рис. 1.) в измерительный блок программно-аппаратного комплекса. Такое решение позволит с большой точностью получать электрические параметры образцов активных диэлектриков с учетом их форм и размеров и температуры. Основное преимущество данного измерительного прибора заключается в том, что имеется возможность исследования температурного влияния на характеристики конкретного образца.

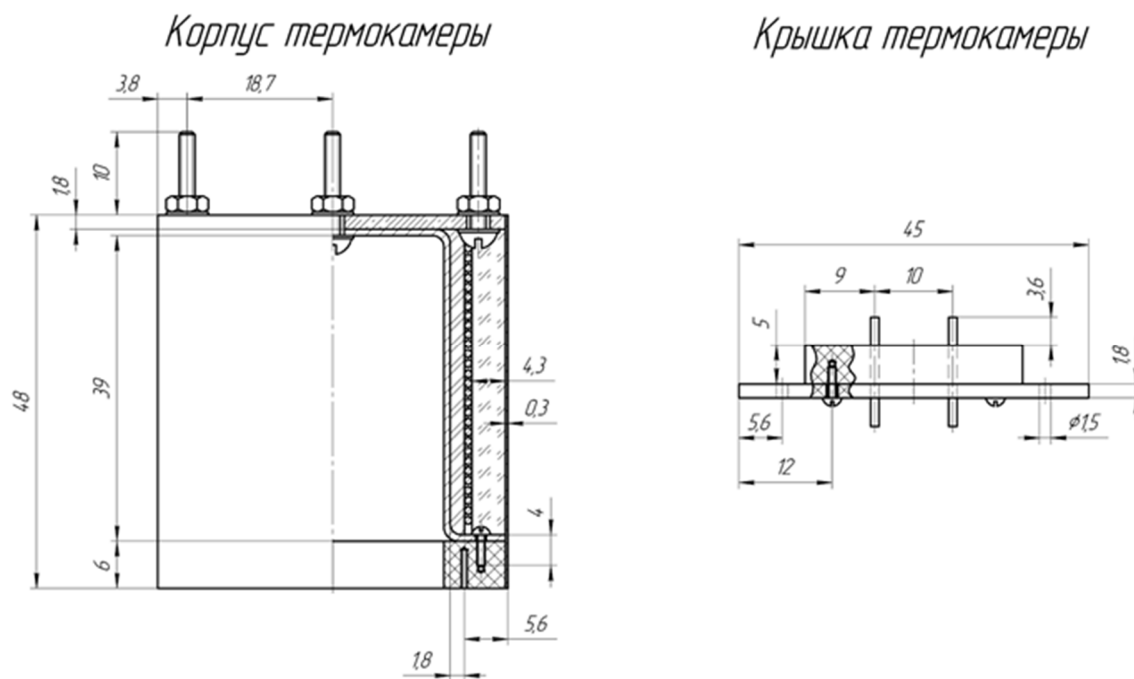


Рис. 1. Устройство термокамеры измерительного блок программно-аппаратного комплекса

Исследуемый образец будет подключаться к усовершенствованной измерительной схеме Сойера-Тауера [6]. Измерительные сигналы пропорциональные напряженности электрического поля и электрическому смещению в образце после ряда преобразований передаются в ПК. Для определения электрических параметров различных материалов, относящихся к активным диэлектрикам, будут использованы современные математические методы цифровой обработки сигналов [7, 8]. Полученные данные при помощи программно-аппаратного комплекса предлагается моделировать, основываясь на законе Кюри – Вейса [9]. Закон основывается на линейных функциях обратной диэлектрической восприимчивости в зависимости от температуры [10].

Метод эмпирико-теоретического моделирования позволяет при минимальном количестве измерительных процедур получить зависимости диэлектрических параметров сегнетоэлектриков с фазовым переходом второго рода (в том числе и поляризованности образца). Это значительно улучшит функциональность программно-аппаратного комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Печерская Е. А., Головяшкин А. Н., Головяшкин А. А. [и др.]. Исследование влияния технологических параметров на воспроизводимость свойств активных диэлектриков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2018. № 1 (25). С. 167–177.

2. Тумаркин А. В., Сапего Е. Н., Гагарин А. Г. [и др.]. Структурные и электрические свойства стеклокерамических сегнетоэлектрических композитных материалов // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2022. № 3. С. 86–95.
3. Печерская Е. А., Соловьёв В. А., Метальников А. М. [и др.]. Контроль временной неустойчивости диэлектрических параметров сегнетоэлектриков // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2013. № 2 (100). С. 84–88.
4. Печерская Е. А., Фимин А. В. Взаимосвязи свойств пьезоэлектрических материалов: метрологические аспекты // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 3. С. 71–79. doi: 10.21685/2227-8486-2021-3-7
5. Позняк А. А., Полубок В. А. Электрофизические характеристики диэлектриков. Минск : БГУИР, 2007. 48 с.
6. Журина А. Е., Печерская Е. А., Фимин А. В. Анализ и совершенствование схем Сойера – Тауэра // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 1.
7. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В. [и др.]. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 2 (28). С. 99–107.
8. Печерская Е. А., Соловьёв В. А., Метальников А. М., Бобошко А. В. Методы исследования температурных зависимостей диэлектрических параметров сегнетоэлектриков // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2012. № 2 (94). С. 77–81.
9. Ryabov D. V., Pecherskaya E. A., Shepeleva J. V., Pecherskaya R. M. Automated method of measuring the temperature dependences of the dielectric parameters of ferroelectrics with second kind phase transition // Journal of Physics: Conference Series. 2014. Vol. 541, № 1. P. 012012.
10. Печерская Е. А. Математические модели предметной области при исследовании параметров материалов нано- и микроэлектроники // Университетское образование : сб. ст. XV Междунар. науч.-метод. конф., посвящ. 50-летию полета первого космонавта Ю. А. Гагарина / под ред. В. И. Волчихина, Р. М. Печерской. Пенза, 2011. С. 436–438.

СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР И ПРИБОРОВ

**Диана Евгеньевна Тузова¹, Екатерина Анатольевна Печерская²,
Михаил Александрович Нелюцков³, Владимир Викторович Антипенко⁴,
Олег Валентинович Карпанин⁵**

^{1,2,3,4,5}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Финансирование: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 23-29-00343).

Статья посвящена результатам разработки информационной системы, которая выполняет автоматизированные измерения электрофизических параметров прозрачных проводящих покрытий, полупроводниковых структур и приборов [1–4]. Приведена структура системы (в частности специально разработанного измерительного блока), а также метод измерений, положенный в её работу.

В настоящее время полупроводниковые структуры используются во многих областях – промышленности, аналоговой и цифровой электронике, телекоммуникации, приборостроении. Они являются основой многих электронных компонентов, в том числе диодов, генераторов, интегральных схем, приёмников оптического излучения и других элементов электроники [5]. В работах [1, 3, 4, 11] описаны полупроводниковые вещества, которые могут быть применимы при изготовлении органических полевых транзисторов. В статье [10] представлены результаты разработки новых материалов и структур для

эффективной терагерцевой спектроскопии с использованием слоистых и двумерных полупроводников. Современные и перспективные полупроводниковые материалы, рассмотренные в работе [9], используются при импортозамещении существующих полупроводников и при создании новых изделий микроэлектроники. Также стоит отметить, что полупроводники являются перспективными материалами для развития космических технологий, актуальных на сегодняшний день. В подтверждении выступает статья [8], в которой описаны эксперименты по использованию полупроводников для изготовления высокоэффективных батарей, применяемых в условиях полёта космической станции. Работа [13] также подтверждает востребованность полупроводниковых структур в развитии современной космонавтики. В ней рассматривается получение уникальных тонкоплёночных материалов с помощью синтеза полупроводников при полётах космического аппарата. Полупроводниковый материал – моносulfат самария, предложенный в работе [6], применяется при создании новых сверхзвуковых летательных аппаратов космической техники, так как обладает высокой радиационной стойкостью, устойчивостью к внешним факторам, широким диапазоном нагрузок и температуры.

Таким образом, измерение параметров полупроводниковых структур и приборов требует совершенствования методов и средств измерений с целью достижения высокой точности результатов. Установки, применимые для измерения электрофизических параметров полупроводников, на сегодняшний день обладают рядом недостатков. Наиболее важные из них определяются высокой погрешностью при измерениях и большой стоимостью данных устройств. Именно для устранения перечисленных недостатков разработан специализированный блок автоматизированной информационно-измерительной системы для измерения электрофизических параметров полупроводников.

В состав аппаратной части информационно-измерительной системы входит персональный компьютер и измерительный блок с установленными в него образцами исследуемого объекта – измерительными преобразователями. Они используются для формирования высокочастотного сигнала напряжения воздействия на объект измерения и напряжения смещения, а также для преобразования тока через образец в сигнал, пропорциональный его емкости или проводимости. Исследуемые образцы встраиваются внутрь измерительного блока или через специальные разъёмы, расположенные на его передней панели. Разработанное программное обеспечение проводит обработку и отображение полученных результатов измерения вольт-фарадных характеристик полупроводниковых структур и приборов и отображает их в удобном для пользователя в табличном и графическом формате [14, 15]. Внешний вид автоматизированной системы изображён на рис. 1.

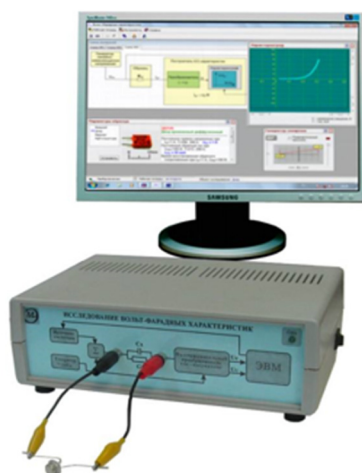


Рис. 1. Внешний вид информационно-измерительной системы для измерения параметров полупроводниковых структур и приборов

Основные характеристики рассматриваемой системы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики информационно-измерительной системы

Характеристика	Значение
Мощность потребления, Вт	Не более 20
Геометрические размеры, мм	260*180*80
Масса, кг	2
Относительная погрешность измерения ёмкости, %	3
Пределы измерения ёмкости, пФ	1000, 300, 100, 30, 10
Частота тест-сигнала, МГц	1

Изображение передней панели измерительного блока представлено на рис. 2. Измерительный блок включает в себя такие основные элементы, как источник смещения, генератор синусоидального сигнала, сумматор, фазочувствительный преобразователь ток-напряжение (ФЧП).

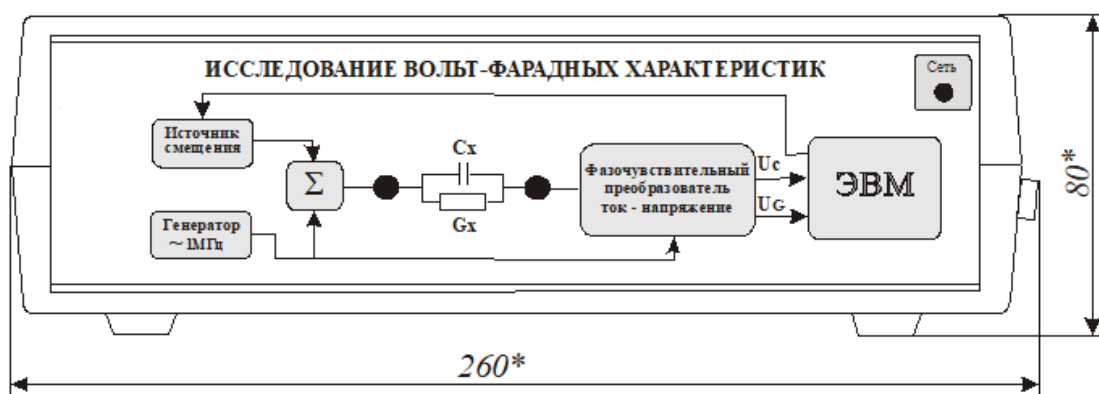


Рис. 2. Внешний вид передней панели измерительного блока

Измерительные преобразователи включают в себя емкостную (C_x) и активную (G_x) составляющую комплексной проводимости. Они представляются в виде двухкомпонентной эквивалентной схемы. Для измерения параметров объекта используется комплексный сигнал, который подается на исследуемый объект из источника смещения (диапазон от -10 В до +10 В) и высокочастотного генератора (частотой 1 МГц). Высокочастотный ток, протекая через исследуемый объект, поступает на ФЧП с целью разделения сигнала на активную и реактивную составляющую, которые пропорциональны проводимости объекта на его выходе. После данной операции сигнал поступает на вход АЦП, преобразовывается в цифровой код и передается на компьютер для дальнейшей работы [12–14].

Автоматизированная информационно-измерительная система позволяет с высокой точностью получать результаты измерения электрофизических параметров полупроводников, а также сократить временные затраты процесса измерения за счёт его автоматизации. Данную систему целесообразно применять на предприятиях при проверке контроля качества продукции; в лабораториях, направление которых заключается в разработке новых полупроводников, покрытий, в том числе, прозрачных проводящих, а также структур на их основе; при подготовке инженерных кадров в учебных заведениях. Кроме того, предлагаемая информационно-измерительная система относится к сравнительно низкой ценовой категории по сравнению с аналогами, поэтому она может выступать в качестве импортозамещающей продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Raksha S. V., Kondrashin V. I., Pecherskaya E. A., Nikolaev K. O. Functional materials for dye-sensitized solar cells // Журнал нано- и электронной физики. 2015. Т. 7, № 4. Р. 04062.
2. Кондрашин В. И., Печерская Е. А. Исследование влияния концентрации примеси на поверхностное сопротивление в ППП (полученных методом спрей-пиролиза) на основе диоксида олова // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : материалы 19-й Всерос. молодеж. науч. школы-семинара. Ульяновск, 2016. С. 175–176.
3. Zinchenko T., Pecherskaya E., Artamonov D. The properties study of transparent conductive oxides (TCO) of tin dioxide (ATO) doped by antimony obtained by spray pyrolysis // AIMS Materials Science. 2019. Vol. 6, № 2. Р. 276–287.
4. Зинченко Т. О., Печерская Е. А. Анализ материалов, используемых для производства прозрачных проводящих покрытий // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб науч. ст. Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. / под ред. Л. Р. Фионовой. Пенза, 2018. С. 256–258.
5. Bronovets M. A., Volodin N. M., Mishin Yu N. New materials in semiconductor tensometry // Materials Letters. 2022. Vol. 267. Р. 127467.
6. Kazakovtsev L. A., Orlov V. I., Stashkov D. V., Antamoshkin A. N., Masich I. S. Improved model for detection of homogeneous production batches of electronic components // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2017. Vol. 255. Р. 012004.
7. Zinchenko T. O., Pecherskaya E. A., Antipenko V. V., Volik A. V., Varenik Y. A., Shepeleva A. E. Methodology for the Selection of Technological Modes for the Synthesis of Transparent Conducting Oxides with Desired Properties // Materials Science Forum, Trans Tech Publications Ltd. 2022. Vol. 1049. Р. 198–203.
8. Блинов В. В., Владимиров В. М., Кушнарев Н. А. [и др.]. Выращивание полупроводниковых структур для высокоэффективных солнечных батарей в открытом космосе // Космические аппараты и технологии. 2020. № 1 (31). С. 45–54.
9. Демидов А. А., Рыбалка С. Б. Современные и перспективные полупроводниковые материалы для микроэлектроники следующего десятилетия (2020–2030 гг.) // Прикладная математика & физика. 2021. № 1. С. 53–72.
10. Мишина Е. Д., Буряков А. М., Пономарев Д. С. Новые материалы и структуры для эффективной терагерцевой спектроскопии // Радиотехника и электроника. 2021. Т. 66, № 9. С. 891–900.
11. Пров К. А., Антонова Я. А., Серков А. В. Перспективы применения каротиноидов в качестве полупроводников для органических полевых транзисторов // Наука настоящего и будущего. 2021. Т. 1. С. 136–138.
12. Метальников А. М., Карпанин О. В., Чайкин М. С. Аппаратное и программное обеспечение автоматизированной обучающей системы для исследования вольтамперных характеристик полупроводниковых приборов // Молодой ученый. 2019. № 50 (288). С. 118–121.
13. Пчеляков О. П. Полупроводниковые вакуумные технологии в космическом пространстве: история, состояние, перспективы // Космическое приборостроение. 2018. № 4 (26). С. 229–235.
14. Печерская Е. А., Карпанин О. В., Тузова Д. Е. [и др.]. Автоматизированная система измерений электрофизических параметров полупроводниковых структур и приборов // Измерительная техника. 2023. № 7. С. 49–54.
15. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В. [и др.]. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 2 (28). С. 99–107.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ, ВИРТУАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ МЕТОДОМ ВЧ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

**Владимир Дмитриевич Кревчик¹, Михаил Борисович Семенов²,
Александр Васильевич Рудин³, Иван Михайлович Семенов⁴,
Илья Александрович Шилкин⁵, Станислав Алексеевич Баркунов⁶**

^{1,2,3,4,5,6}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Финансирование: работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ 0748-2020-0012.

Современные конструкционные материалы, как правило, склонны к хрупкому разрушению, то есть к разрушению путем распространения дефектов, таких как микротрещины и дислокации. Если своевременно обнаружить микродефект в данном изделии, определить местоположение, размер и скорость его развития, то можно заранее предотвратить разрушение детали или конструкции. Это особенно важно для таких критически важных промышленных объектов, как ядерные реакторы, нефте- и газопроводы и сосуды высокого давления. Большая роль в решении проблемы диагностики деталей машин и конструкционных материалов отводится методам неразрушающего контроля изделий, неотъемлемой частью которых является метод акустической эмиссии (АЭ) [1]. Он основан на зависимостях между характеристиками образующихся или распространяющихся дефектов и параметрами испускаемых ими акустических волн.

Проводить диагностику деталей и конструкций машин, как в лабораторных условиях, так и в режиме их эксплуатации позволяет метод акустической эмиссии [2, 3]. Акустико-эмиссионный метод относится к современным неразрушающим методам диагностики, что позволяет проводить дефектоскопию различных деталей, узлов и конструкций без нарушения их целостности и непосредственно в процессе их эксплуатации. Этот метод основан на регистрации и последующем анализе амплитудно-частотных параметров сигналов акустической эмиссии, возникающих в деталях, находящихся в упругодеформированном состоянии. Режим упругодеформированного состояния может быть обеспечен как условиями эксплуатации детали, так и действием внешней механической силы. Частотный спектр и количество сигналов акустической эмиссии определяются как типом, так и размером микродефекта.

Особенностью метода акустической эмиссии, отличающей его от современных методов диагностики, таких как рентгенография и ультразвук, является то, что метод акустической эмиссии позволяет определять только развивающиеся дефекты, являющиеся наиболее опасными дефектами в твердом теле.

Поэтому анализ амплитудно-частотных параметров сигналов акустической эмиссии, полученных в режиме упругодеформированного состояния детали, позволит заблаговременно обнаружить микродефект и проследить его развитие.

На рис. 1 изображена функциональная блок-схема устройства для ранней диагностики образования и развития микротрещин в деталях машин и конструкциях.

На рис. 2 изображен спектр сигналов акустической эмиссии до и после инфрадинного преобразования частоты первичных сигналов.

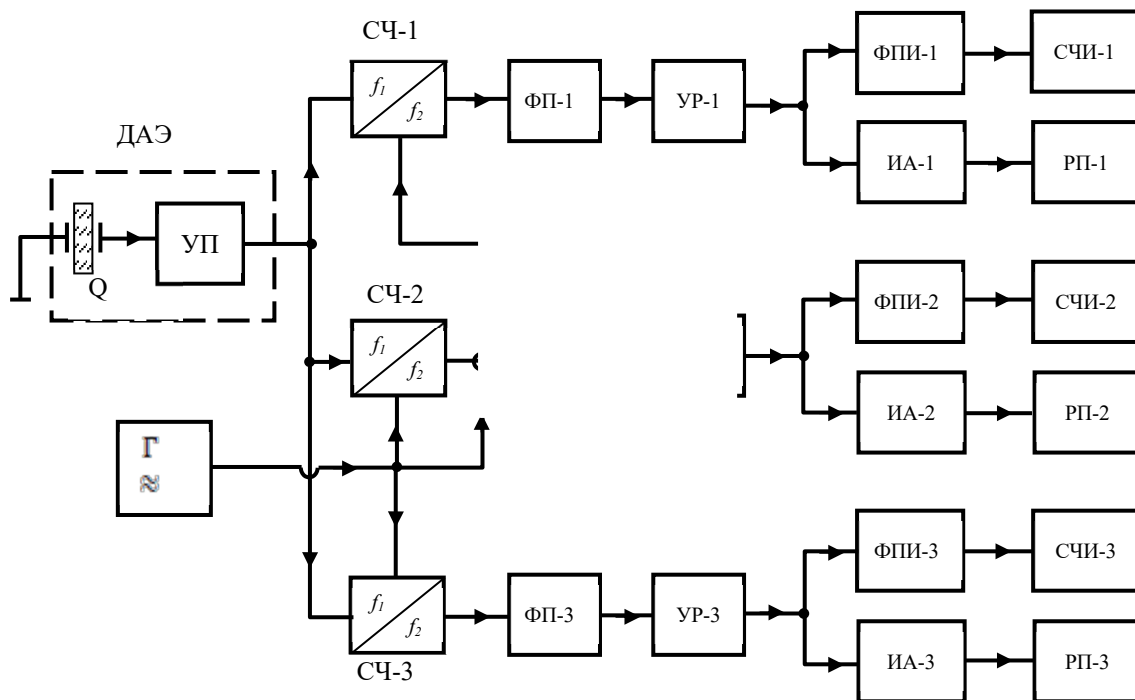


Рис. 1. Блок-схема устройства ранней диагностики образования и развития микротрещин в деталях машин и конструкциях

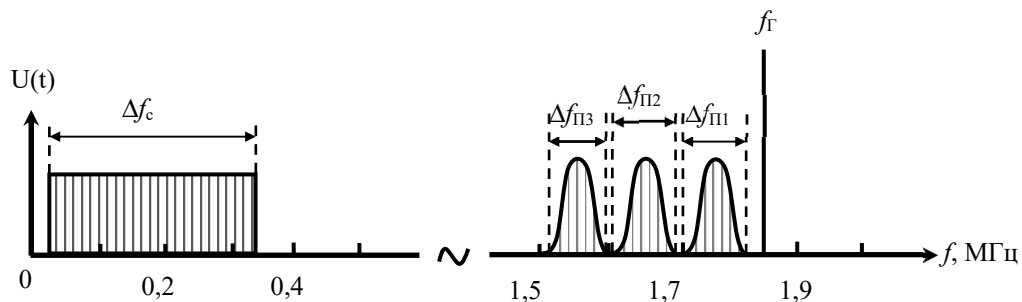


Рис. 2. Спектр сигналов акустической эмиссии до и после инфрадинного преобразования частоты первичных сигналов

Устройство (рисунок 3.1) содержит: акустическую ячейку ДАЭ, выход которой через коаксиальный ВЧ-кабель подключен к первому входу анализатора спектра сигналов акустической эмиссии, выполненного в виде трех смесителей частоты инфрадинного типа СЧ-1, СЧ-2, СЧ-3, с совмещенными ВЧ-полосовыми LC-фильтрами ФП-1, ФП-2, ФП-3, обеспечивающими перенос спектра принимаемых сигналов акустической эмиссии из области низкочастотного ультразвукового диапазона частот $\Delta f_c = (0,05 \div 0,375)$ МГц в три высокочастотные области спектра, с полосой промежуточных частот $\Delta f_{П1} = (1,7552 \pm 0,0375)$ МГц, $\Delta f_{П2} = (1,6307 \pm 0,0375)$ МГц, $\Delta f_{П3} = (1,5057 \pm 0,0375)$ МГц, без изменения параметров частотного спектра акустических сигналов, второй вход анализатора – вторые входы смесителей СЧ подключены к выходу генератора высокой частоты – гетеродину Г, частота которого выше частотного спектра сигналов акустической эмиссии и составляет $f_G = 1,8432$ МГц, а выходы смесителей подключены

к трем частотно-избирательным резонансным узкополосным усилителям ВЧ-сигналов УР-1, УР-2, УР-3, с полосой частот: $\Delta f_{\Pi 1} = (1,7182 \div 1,7932)$ МГц, $\Delta f_{\Pi 2} = (1,5932 \div 1,6682)$ МГц, $\Delta f_{\Pi 3} = (1,4682 \div 1,5432)$ МГц, соответственно для низких частот $\Delta f_{\Sigma 1} = (0,05 \div 0,125)$ МГц, средних частот $\Delta f_{\Sigma 2} = (0,175 \div 0,25)$ МГц, и высоких частот $\Delta f_{\Sigma 3} = (0,3 \div 0,375)$ МГц первичных акустических сигналов, принимаемых акустико-эмиссионным преобразователем Q, а выходы резонансных усилителей УР подключены к трем отдельным блокам измерения амплитуды одиночных импульсов ИА-1, ИА-2, ИА-3, а также к трем отдельным блокам формирования прямоугольных импульсов ФПИ-1, ФПИ-2, ФПИ-3, выходы которых подключены к входам трех отдельных цифровых счетчиков импульсов СЧИ-1, СЧИ-2, СЧИ-3 [4].

Преобразование частоты осуществляется любой умножающей схемой, которая представляет собой нелинейную систему, например полупроводниковый транзистор. Преобразование, по существу, сводится к умножению сигналов, частоты которых отличаются на величину промежуточной частоты, с последующей фильтрацией разностной или суммарной составляющей сигнала произведения [4].

Пусть принимаемый акустический сигнал описывается гармонической функцией:

$$U_c(t) = U_c \cdot \cos(\omega_c t + \varphi_c), \quad (1)$$

где U_c – амплитуда гармонических колебаний, ω_c – циклическая частота сигнала.

Вспомогательный сигнал, который генерируется специальным генератором – гетеродином, описывается уравнением:

$$U_T(t) = U_T \cdot \cos(\omega_T t + \varphi_T), \quad (2)$$

где U_T – амплитуда гармонических колебаний гетеродина, ω_T – циклическая частота колебаний гетеродина.

Сигналы, описываемые уравнениями (3.1) и (3.2), перемножаются в умножающей схеме, которая называется преобразованием сигналов, в результате которого получается выражение:

$$\begin{aligned} U_{\text{пр}}(t) &= U_c \cdot U_T \cdot \cos(\omega_c t + \varphi_c) \cdot \cos(\omega_T t + \varphi_T) = \\ &= \frac{1}{2} U_c \cdot U_T \cdot \cos[(\omega_c - \omega_T)t + (\varphi_c - \varphi_T)] + \frac{1}{2} U_c \cdot U_T \times \\ &\quad \times \cos[(\omega_c + \omega_T)t + (\varphi_c + \varphi_T)], \end{aligned} \quad (3)$$

которое содержит две составляющие. Первая составляющая имеет частоту, равную разности частот принимаемого и вспомогательного сигналов $(\omega_c - \omega_T)$ и фазу, равную разности фаз указанных сигналов $(\varphi_c - \varphi_T)$. Спектр первой составляющей полностью соответствует спектру принимаемого сигнала, но смещен в область разностной частоты, которая обычно и выбирается в качестве промежуточной (см. рис. 2). Для выделения разностной составляющей на выходе схемы умножения включен LC-фильтр, настроенный на разностную частоту и имеющий полосу пропускания, соответствующую ширине спектра принимаемого сигнала.

Введение трех частотно-избирательных резонансных узкополосных усилителей ВЧ-сигналов, с полосой частот: $\Delta f_{1H} = 3,1 \pm 0,1$ МГц, $\Delta f_{2H} = 4,3 \pm 0,1$ МГц, $\Delta f_{3H} = 5,5 \pm 0,1$ МГц соответственно для низких, средних и высоких частот акустических сигналов, входы которых дополнительно снабжены тремя гетеродинными смесителями частоты и тремя гетеродинными генераторами с частотами: $f_1 = 3,0$ МГц, $f_2 = 4,0$ МГц, $f_3 = 5,0$ МГц, соответственно позволяет осуществить преобразование низкочастотного диапазона ультразвуковых сигналов в три узкополосных высокочастотных радиосигнала, которые затем усиливаются тремя избирательными резонансными усилителями высокой частоты,

с малым коэффициентом собственных шумов. Это позволяет полностью отфильтровать низкочастотные сигналы, обусловленные внешними механическими шумами, не связанными со структурными изменениями в исследуемом образце, и тем самым повысить чувствительность акустического прибора [4].

Выбранный диапазон акустических частот позволяет полностью отсеять низкочастотные колебания частотой ниже 20 кГц, уровнем 60 дБ и более, которые в основном соответствуют сигналам технологических шумов, обусловленных работой электрических двигателей и механических приводов.

Предлагаемый метод ВЧ-преобразования сигналов АЭ позволит проводить исследования акустической эмиссии деталей машин и конструкций непосредственно в условиях их эксплуатации без разборки и демонтажа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешин Н. П., Щербинский В. Г. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий : учебник. М. : Высш. шк., 1991. 271 с.
2. Артемов И. И., Кревчик В. Д. Акустическая эмиссия в условиях скрытого подрастания микротрещин // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2005. № 4. С. 92–95.
3. Рудин А. В., Артемова Н. Е., Келасьев В. В. Исследование микронеоднородной структуры деталей машин методом акустической эмиссии // Проблемы исследования и проектирования машин : сб. ст. IV Междунар. науч.-техн. конф. Пенза : Информ.-издат. центр ПГУ, 2008. С. 68–72.
4. Пат. 2788311, Российская Федерация, МПК G01N29/14, G01B17/04. Устройство для ранней диагностики образования и развития микротрещин в деталях машин и конструкциях / Кревчик В. Д., Семенов М. Б., Рудин А. В. № 2022102919 ; опубл. 17.01.2023. 27 с.

ПОСТРОЕНИЕ ВЕКТОРНЫХ ДИАГРАММ В СРЕДЕ MathCAD

**Никита Владимирович Ионов¹, Владимир Викторович Регеда²,
Ольга Николаевна Регеда³**

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Система Mathcad во всем мире признана одной из наиболее совершенных программных систем, позволяющих решать математические задачи в объеме программы технического вуза [1]. Однако при построении графиков в Mathcad нельзя задавать их параметры в комплексном виде. Для построения по результатам расчетов векторной диаграммы в MathCAD можно использовать график XY, задавая соответствующим образом его параметры и считая, что ось X совпадает с вещественной осью +1, а ось Y – с мнимой осью +i на комплексной плоскости.

Проведем расчет трехфазной сети, приведенной на рис. 1, которая включает в себя трехфазный генератор с фазным напряжением 380 В, первый потребитель, представляющий собой резистивную несимметричную нагрузку по схеме «звезда» с нулевым проводом с заданной мощностью фаз PA, PB и PC, а также второй потребитель, который является симметричной нагрузкой по схеме «треугольник» с заданной суммарной активной мощностью P2 и коэффициентом мощности $\cos\varphi_2 = 0,45$ активно-индуктивного характера.

На рис. 2–4 приведены программы в MathCAD для расчета фазных токов во всех ветвях первого и второго потребителей, а также суммы фазных токов первого и второго потребителя трехфазной цепи, соответственно.

Для визуализации результатов расчета в виде комплексного числа в MathCAD с помощью графика XY в местозаполнителе оси Y будем вводить их мнимые части,

а в местозаполнителе оси X – их вещественные части. Комплексные числа представляются на комплексной плоскости в виде вектора, выходящего из начала координат. При этом проекция вектора на мнимую ось совпадает с мнимой частью комплексного числа, а проекция вектора на вещественную ось – с вещественной частью комплексного числа.

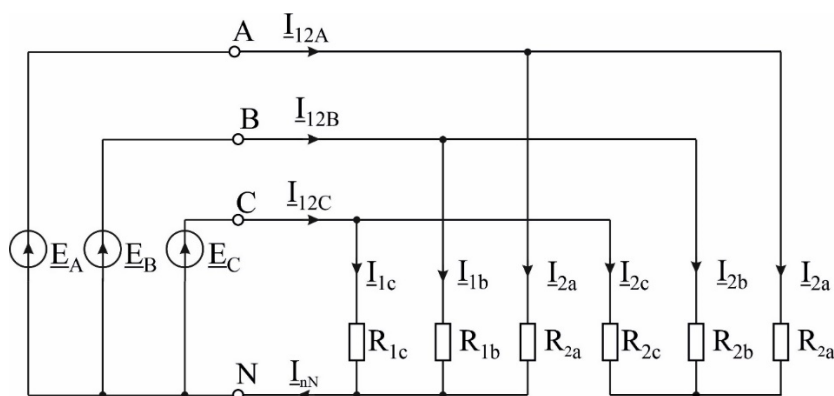


Рис. 1

$$\begin{aligned}
 U_{\phi} &:= 380 \cdot V & P1A &:= 8600 \text{ W} & P1B &:= 6800 \text{ W} & P1C &:= 7600 \text{ W} & i &:= \sqrt{-1} \\
 U_A &:= U_{\phi} \cdot e^{i \cdot 0^\circ} = 380 \text{ V} & U_B &:= U_{\phi} \cdot e^{-i \cdot 120^\circ} = (-190 - 329.09i) \text{ V} \\
 U_C &:= U_{\phi} \cdot e^{i \cdot 120^\circ} = (-190 + 329.09i) \text{ V} \\
 \text{Фазные_токи_1_приемника} & & I1a &:= \frac{P1A}{U_{\phi}} = 22.632 \text{ A} \\
 & & I1b &:= \frac{P1B}{U_{\phi}} \cdot e^{-i \cdot 120^\circ} = (-8.947 - 15.497i) \text{ A} \\
 & & I1c &:= \frac{P1C}{U_{\phi}} \cdot e^{i \cdot 120^\circ} = (-10 + 17.321i) \text{ A} \\
 I_{nN} &:= I1a + I1b + I1c = (3.684 + 1.823i) \text{ A} & \text{Ток_в_нейтральном_проводе}
 \end{aligned}$$

Рис. 2

$$\begin{aligned}
 P2 &:= 57000 \text{ W} & \cos \varphi 2 &:= 0.45 & \varphi 2 &:= \arccos(\cos \varphi 2) \cdot \frac{180}{\pi} = 63.256 \\
 S2 &:= \frac{P2}{\cos \varphi 2} = (1.267 \cdot 10^5) \text{ W} & S2_{\phi} &:= \frac{S2}{3} = (4.222 \cdot 10^4) \text{ W} \\
 \text{Фазные_токи_2_приемника} & & I2a &:= \frac{S2_{\phi}}{U_{\phi}} \cdot e^{-i \cdot (\varphi 2)} = (50 - 99.225i) \text{ A} \\
 & & I2b &:= \frac{S2_{\phi}}{U_{\phi}} \cdot e^{i \cdot (-120 - \varphi 2)} = (-110.932 + 6.311i) \text{ A} \\
 & & I2c &:= \frac{S2_{\phi}}{U_{\phi}} \cdot e^{i \cdot (120 - \varphi 2)} = (60.932 + 92.914i) \text{ A}
 \end{aligned}$$

Рис. 3

Для построения в одних осях графика XY нескольких векторов (для рассматриваемого примера фазных токов первого и второго потребителей, а также их сумм) можно задать для них в местозаполнителе оси Y и X значения в виде матриц, размером два на три. При этом все элементы первых строк матриц должны равняться нулю, чтобы векторы выходили из нуля.

Сумма_фазных_токов_1_и_2_приемника

$$I_{12A} := I_{1a} + I_{2a} = (72.632 - 99.225i) \text{ A}$$

$$I_{12B} := I_{1b} + I_{2b} = (-119.879 - 9.186i) \text{ A}$$

$$I_{12C} := I_{1c} + I_{2c} = (50.932 + 110.234i) \text{ A}$$

Рис. 4

На рис. 5 приведена программа в MathCAD, в которой для каждого из векторов формируется две матрицы, соответствующие вещественным и мнимым частям фазных токов первого и второго приемника, а также их суммарных токов для каждой фазы, а на рис. 6 приведена соответствующая векторная диаграмма, построенная с помощью графика XY.

$$I_{1re} := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \operatorname{Re}(I_{1a}) & \operatorname{Re}(I_{1b}) & \operatorname{Re}(I_{1c}) \end{bmatrix}$$

$$I_{1im} := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \operatorname{Im}(I_{1a}) & \operatorname{Im}(I_{1b}) & \operatorname{Im}(I_{1c}) \end{bmatrix}$$

$$I_{2re} := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \operatorname{Re}(I_{2a}) & \operatorname{Re}(I_{2b}) & \operatorname{Re}(I_{2c}) \end{bmatrix}$$

$$I_{2im} := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \operatorname{Im}(I_{2a}) & \operatorname{Im}(I_{2b}) & \operatorname{Im}(I_{2c}) \end{bmatrix}$$

$$I_{12re} := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \operatorname{Re}(I_{2a} + I_{1a}) & \operatorname{Re}(I_{2b} + I_{1b}) & \operatorname{Re}(I_{2c} + I_{1c}) \end{bmatrix}$$

$$I_{12im} := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \operatorname{Im}(I_{2a} + I_{1a}) & \operatorname{Im}(I_{2b} + I_{1b}) & \operatorname{Im}(I_{2c} + I_{1c}) \end{bmatrix}$$

Рис. 5

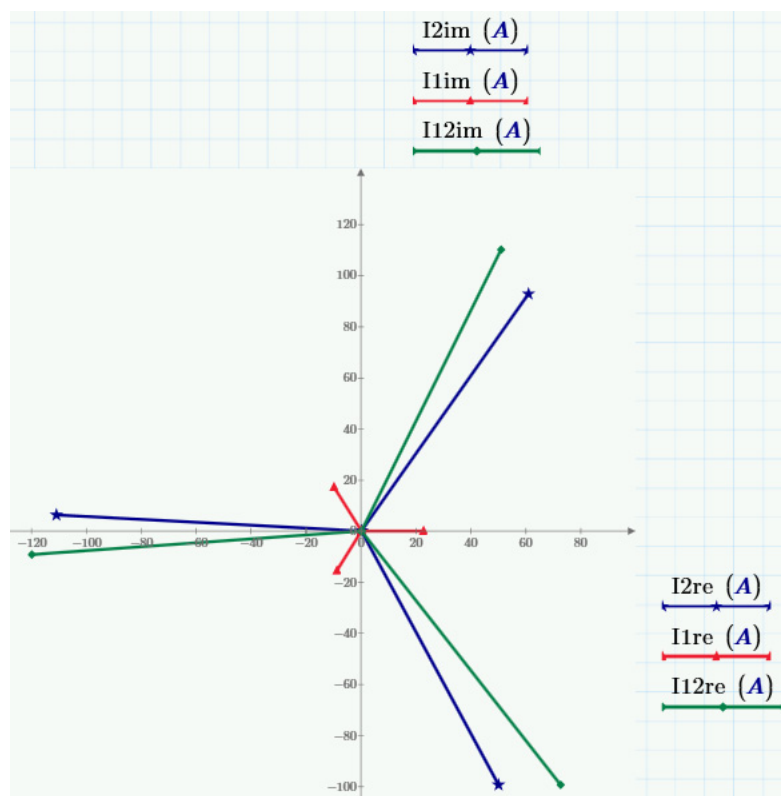


Рис. 6

При необходимости на векторной диаграмме можно добавить с помощью любого графического редактора обозначения векторов и необходимые пояснения. На векторной диаграмме (рисунок 7) видно, что токи I_{12A} , I_{12B} , I_{12C} построены как векторная сумма фазных токов каждого из потребителей в соответствии с первым законом Кирхгофа.

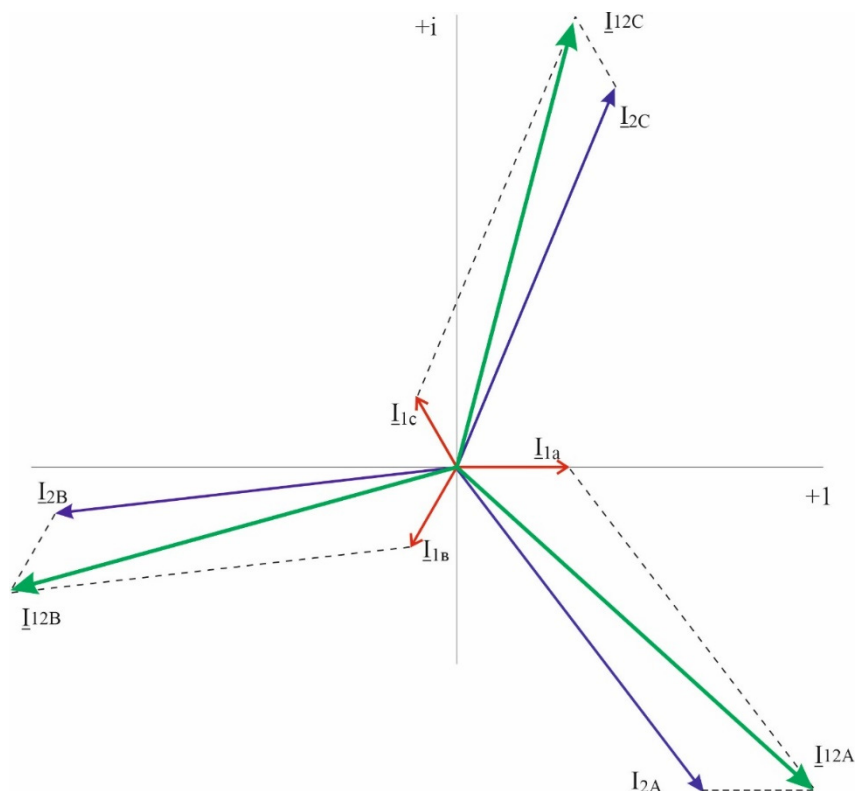


Рис. 7

Использование системы MathCAD не только для расчета электрических цепей в комплексной форме, но и для визуализации результатов в виде векторных диаграмм, позволит оперативно выполнять проверку правильности расчета и заметно повысить эффективность учебного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решение математических задач в среде MathCAD. URL: <http://elib.pnzgu.ru/library/1572855037>

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОЛОНОСКОПИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ

Владимир Вячеславович Хрящев¹, Андрей Леонидович Приоров²,
Никита Валерьевич Котов³

^{1,2,3}Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, г. Ярославль, Россия

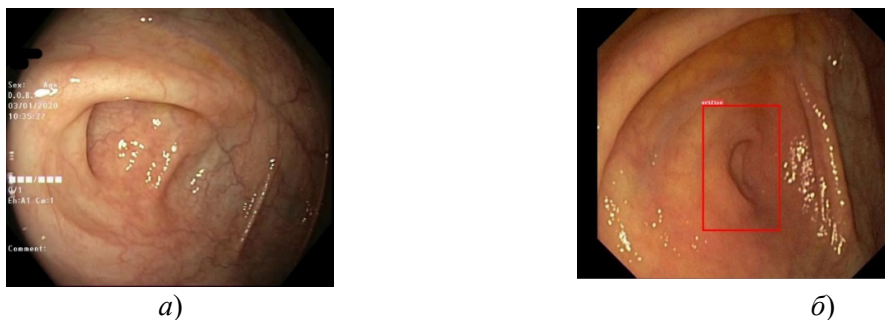
Финансирование: работа выполнена в рамках реализации Программы развития Ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова на период 2021–2030 г.

Введение. В настоящее время одним из актуальных направлений в области обработки медицинских видеоданных является анализ эндоскопических изображений [1–4]. Например, процедура колоноскопии позволяет выявить доброкачественные и злокачественные образования в толстой кишке, предотвратив развитие опасных заболеваний. О полноте такого исследования свидетельствует доведение эндоскопа до слепой кишки пациента, где врач осуществляет фотофиксацию купола червеобразного отростка слепой кишки [5–6].

Целью настоящей работы является классификация эндоскопических изображений купола червеобразного отростка слепой кишки при проведении исследования с целью скрининга колоректального рака на основе методов глубокого машинного обучения.

В рамках исследования выбраны последние версии детекторов семейства YOLO – наиболее популярные варианты YOLOv5, YOLOv7 и YOLOv8. Каждая последующая архитектура содержит различные модификации – как архитектуры, так и методов процедуры обучения. Для сравнения алгоритмов в работе использовались также сверточные нейронные сети популярной архитектуры SSD300 и SSD512 с модулем VGG16.

База изображений купола слепой кишки. Для обучения указанных архитектур нейронных сетей требуются специализированные базы изображений с предварительной экспертной разметкой областей интереса. Такая база сформирована из видеоданных колоноскопических исследований, проведенных в отделении эндоскопии ГБУЗ «Ярославская областная клиническая онкологическая больница» на эндоскопических системах OLYMPUS EXERA II, EXERA III и PENTAX EPK-i701. Всего для данной работы записаны и обработаны видеоданные 21 эндоскопического исследования, при этом длительность соответствующих видеофайлов составляла 8-15 минут. В итоге, собрано 1561 пар изображений с разрешением 640x640 пикселей. Пара образована исходным изображением без экспертной разметки и при ее наличии (рис. 1).



а) б)
Рис. 1. Примеры изображений купола слепой кишки:
а – без разметки; б – с разметкой экспертом

Результаты обучения и тестирования нейронных сетей. Для характеристики обучения нейронной сети приведем графики, иллюстрирующие динамику ошибок для процедур обучения TL (график слева) и валидации VL (график справа) в зависимости от номера эпохи приведена на рис. 2.

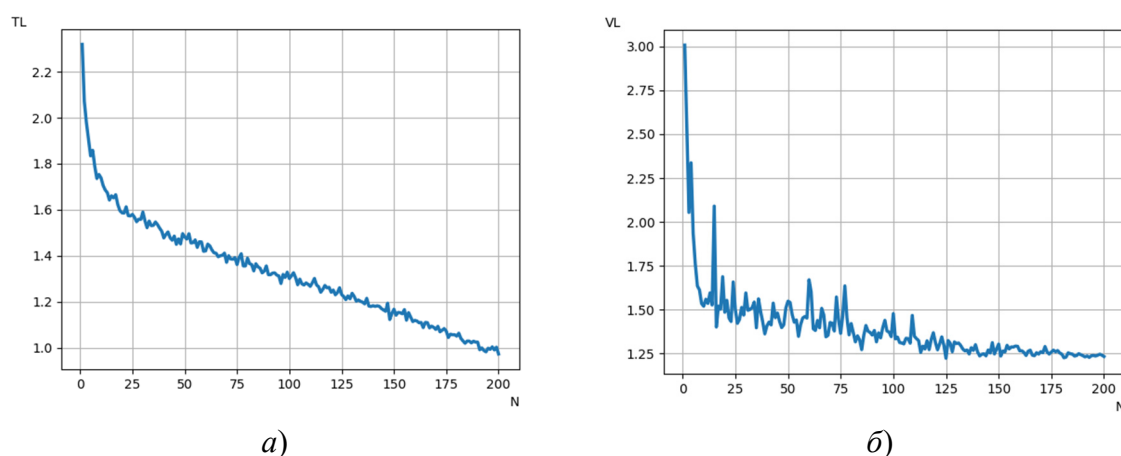


Рис. 2. Зависимость ошибки для процедур обучения и валидации от номера эпохи N для нейронной сети YOLOv8s: а – процедура обучения TL; б – процедура валидации VL

Для алгоритмов на основе архитектур YOLO использовались следующие параметры обучения: размер батча (последовательности изображений) составлял 16 изображений, в качестве алгоритма оптимизации использовался алгоритм Adam (Adaptive Moment Estimation) [7]. Число эпох в обоих случаях равнялось 200. Для процедуры обучения спад величины ошибки в начале процедуры меньше, чем для процедуры валидации. Величина пульсаций ошибки при обучении оказалась также заметно меньше, особенно в начале процедуры.

Для оценивания качества работы алгоритмов предложено использовать метрики mAP50 и mAP50-95. Последняя рассчитывается как среднее 10-ти значений mAP, рассчитанных при 10 различных порогах IoU в пределах от 0,50 до 0,95 с шагом 0,05 [4].

В табл. 1 приведены результаты тестирования алгоритмов на всех архитектурах.

Таблица 1

Тестирование нейросетевых алгоритмов детектирования

Архитектура сети	mAP50	mAP50-95
yolov5s	0,995	0,648
yolov8n	0,995	0,689
yolov8s	0,995	0,698
yolov8m	0,995	0,683
yolov8l	0,995	0,679
yolov7	0,997	0,607
yolov7-x	0,997	0,591
ssd300+vgg16	0,722	0,415
ssd512+vgg16	0,705	0,397

Среди представленных алгоритмов детектирования лучшие результаты показал YOLOv8s. Значение метрики mAP50 для него достигает 0,995, а усреднённая по диапазон порогов метрика mAP50-95 – 0,698, что говорит о высокой способности детектирования объектов в широком диапазоне порогов детектирования.

Заключение. По результатам сравнения алгоритмов, приведенных в настоящем исследовании в области детектирования купола слепой кишки на колоноскопических изображениях можно сделать следующий вывод – рассмотренный алгоритм YOLOv8s превосходит приведенные в более ранних исследованиях аналоги по метрике mAP со всеми порогами.

Исследования, проведенные в работе, послужат базой для построения на основе разработанного нейросетевого алгоритма обнаружения купола слепой кишки модуля анализа видеопотока в реальной эндоскопической системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhou S. K., Greenspan H., Shen D. Deep Learning for Medical Image Analysis. Elsevier Science, 2017.
2. Лебедев А. А., Хрящев В. В., Казина Е. М., Среднякова А. С., Журавлева А. С. Распознавание устья червеобразного отростка на эндоскопических изображениях прямой кишки на основе сверточной нейронной сети // Цифровая обработка сигналов и ее применение (DSPA-2020) : докл. 22-й междунар. конф. М., 2020. С. 638–642.
3. Bisschops R. [et al.]. Performance measures for upper gastrointestinal endoscopy: a European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) Quality Improvement Initiative // Endoscopy. 2016. Vol. 48(9). P. 843–864.
4. Лебедев А. А., Хрящев В. В., Среднякова А. С., Казина Е. М. Разработка алгоритма детектирования полипов на эндоскопических изображениях с использованием сверточных нейронных сетей // Цифровая обработка сигналов. 2021. № 2. С. 55–60.
5. Хрящев В. В., Завьялов Д. В., Андержанова А. С. Классификация эндоскопических изображений устья червеобразного отростка на основе методов глубокого машинного обучения // Цифровая обработка сигналов. 2023. № 1. С. 35–38.
6. Cho M., Kim J. H., Hong K. S., Kim J. S., Kong H-J, Kim S. Identification of cecum time-location in a colonoscopy video by deep learning analysis of colonoscope movement // PeerJ. 2019. Vol.7. P. e7256. URL: <http://doi.org/10.7717/peerj.7256>
7. Kingma D. P., Ba J. Adam: A Method for Stochastic Optimization // Machine Learning (cs.LG). 2017. arXiv:1412.6980v9.

ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НА РЫНКЕ

Сергей Александрович Юрченко¹, Дмитрий Викторович Цыбульский²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Цель данной статьи – анализ возможностей медицинских информационных систем, которые можно найти на рынке для использования в медицинских учреждениях и сравнения их возможностей между системами. Начнем с определения, что такое медицинская информационная система и какие задачи она должна решать.

Медицинская информационная система (МИС) – система автоматического учета медицинского учреждения, в составе которой должно быть: медицинские карты пациентов, данные медицинских исследований, финансовая информация, информация о работниках.

Для МИС в России существует приказ Министерства здравоохранения, регулирующий требования для МИС в стране [1]. На основе этих требований будет производится обзор систем, которые есть сейчас на рынке. Из этого приказа можно выделить основные задачи, которые должна уметь выполнять МИС:

- обеспечение и поддержка системы;
- учет пациентов и работников;

- ведение профиля (электронной карты) пациента;
- контроль потока пациентов (электронная регистратура);
- хранения огромной информации о всех клиентах долгое время;

Перейдем к обзору медицинских информационных системы.

Medods [2] – программное обеспечение, предназначенное для организации работы медицинских центров. ПО предоставляется в виде локальной версии или же облачной версии. Стоимость для локальной версии – 79 000 рублей, для облачной версии – 4900 рублей ежемесячной оплаты. Для каждой из версий предоставляется техническое и клиентское сопровождение. Сама система проинтегрирована в 700 клиниках в 6 странах и 72 регионах России.

Из плюсов стоит отметить наличие важного функционала: онлайн-запись, ведение карточки болезни пациента, интеграции с СМС сервисами, 1С.

Из минусов, интеграции не поддерживают расширение функционала для интеграций, можно пользоваться только тем, что реализовано, не предоставляется пробный доступ.

Clinic365 [3] – CRM-решение для клиник. Подключение происходит локально, стоимость подключения 9000 рублей, ежегодно. Нет информации о количестве подключений в разных регионах.

Плюсы системы. Наличие функционала для работы с электронными медицинскими картами пациентов, автоматическое формирование различных отчетов, а также разграничение доступов для работников.

Минусы системы. Пробный доступ также не предоставляется. Нет поддержки уведомления клиентов.

МедЭлемент [4] – это медицинская справочная платформа, в которую входят различные облачные сервисы и информационные системы, предназначенные для медицинских организаций, врачей, студентов-медиков и людей заинтересованных в охране здоровья. Подключение одной учётной записи врача бесплатно, далее по тарифу 8400 рублей в год.

Достоинствами этого ПО можно назвать:

- доступ к информации и веб-сервисам из любой точки мира – облачное хранение данных;
- легкая коммуникация между клиникой и пациентом с помощью удобных веб-сервисов;
- обширная база медицинской информации, собранная на одной платформе.

Эта МИС позволяет создать личный электронный кабинет по готовым шаблонам для вашей специальности, даёт доступ к расписанию приемов и медицинским картам пациентов. При наличии устойчивого интернет соединения на стороне клиента, система позволяет получить доступ к ресурсам в любое время суток, в не зависимости от часовых поясов. Система является устойчивой и надёжной для пользователей. На платформе можно проводить прием в электронном виде с быстрой распечаткой информации для пациента, а также важная задача в наши дни – проводить учёт оказанных услуг, с возможностью создавать финансовые отчеты.

Выявленные недостатки:

- в случае плохо соединения с интернетом, у МИС могут быть задержки из-за сильной зависимости от облачных технологий. В таких случаях более предпочтительна стационарная МИС.

1С: Медицина. Поликлиника [5] – это программное обеспечение, предназначенное для автоматизации основных задач медицинских организаций, таких как: запись на приём, ведение медицинских карт, создание медицинских документов и шаблоны для них, а также подписание электронных документов. Кроме того, эта МИС даёт такие возможности, как: ведение расчётов с физическими лицами, маркетинга, контроль

исполнения медицинских услуг. У программы есть важные особенности: наличие системы для работы с call-центром, операционный блок (для планирования и отчётности по операциям с пациентами), руководитель и аналитическая служба, диспансеризация и рабочие кабинеты для медперсонала. Стоимость использования этой МИС: 50 180 рублей.

Достоинствами данной МИС можно считать:

- популярное решение на рынке РФ;
- наличие единой технической платформы, благодаря чему обеспечивается масштабируемость проектов и возможность использования современных технологических решений.
- большая экосистема различных инструментов и модулей для автоматизации работы медицинского учреждения;
- высокий уровень функциональности, позволяющий решать широкий спектр задач в автоматическом режиме, что дает возможность экономить время и другие ресурсы;
- интеграции с другими инструментами и государственными нормативными ресурсами, такими как: ЕГИСЗ, Реестр нормативно-справочной информации системы здравоохранения и другими продуктами 1С.

К недостаткам «1С: Медицина. Поликлиника» можно отнести:

- медлительность некоторых вычислений. Нельзя вести динамический учет;
- сложность внедрения – необходимы специалисты, для настройки ПО;
- повышенная ресурсоемкость. Система относится к категории «прожорливых продуктов». Она использует внушающее количество системных ресурсов. Чтобы все нормально функционировало, необходимо иметь достаточную серверную мощность;
- сложность интерфейса. В целом, программа является простой, но чем больше пользователю нужно производить расчетов, тем сложнее она будет казаться. Ведь это напрямую связано с количеством информации, которая поступает в систему. Соответственно возрастает количество документов и отчетов;
- недостаточный уровень безопасности системы;
- платные обновления.

Инфоклиника [6, 7] – это полнофункциональная медицинская информационная система, которая позволяет управлять не только одним медицинским учреждением, а целой сетью. Эта система имеет решение для организации сайта электронной регистратуры и личного кабинета пациента клиники. Она представляет из себя многомодульную инфраструктуру, где каждый модуль отвечает за конкретный функционал, например: модуль “Кассовые операции”, “Учёт пациентов” или “Электронная история болезни”. Главным модулем является базовая версия МИС. В неё входят основные функции для работы медицинского учреждения: картотека пациентов, оформление документации для пациента, составление и контроль плана лечения и т.д.

Стоимость использования данной МИС рассчитывается индивидуально под потребности.

Достоинства МИС “Инфоклиника”:

- множество модулей системы, которые покрывают требования медучереждения;
- удобный дизайн интерфейса;

Недостатки МИС “Инфоклиника”:

- необходимость доплаты за новые интеграции МИС;
- в базовой версии отсутствуют важные функции: личный кабинет и возможность интеграции с другими инструментами;
- из-за отсутствия фактической стоимости МИС, её итоговая расчетная стоимость может оказаться высокой и не окупаемой;
- долгое время между релизами ПО.

Промед [8] – региональная информационная-аналитическая медицинская система. Поддерживает множество служб медицинских организаций: автоматизация поликлиники, автоматизация стационара, ведение карты пациента, учет медицинских работников, ведение структуры организации, автоматизация регистратуры и приемного отделения и так далее. Систему начали разрабатывать в 2002 году. Последнее обновление система получила в 2022 году. Из этого следует, что систему поддерживают и вносят доработки или новый функционал.

Достоинства МИС “ПроМед”:

- возможность авторизации по конкретному региону;
- возможность авторизации по логину и паролю, по токenu или же через систему государственных услуг;
- покрывает большинство функционала, который требуется для работы медицинского учреждения;
- за счет привязки к отдельному региону не требуется сопровождать систему в конкретной поликлинике.

Недостатки МИС “ПроМед”:

- фактор привязки к отдельному региону добавляет нестабильность в систему, если система не будет доступна по региону, то работа поликлиники приостановится.

В заключении, важно отметить, что на рынке отсутствует монополия на конкретную МИС, как результат есть большой набор различных платформ и программных систем для автоматизации работы медицинских структур. Кроме того, есть продукты с ценой доступной небольшим организациям и структурным единицам. Несмотря на такое большое разнообразие медицинских систем, у многих из них есть недостатки. Некоторые системы могут оказаться неудобны в использовании рядовым пользователям, например, в виде недоработанного или непродуманного интерфейса, а некоторые очень зависимы от остальной инфраструктуры, из-за чего могут возникнуть трудности с масштабированием системы или отсутствием доступа к ресурсам в критические моменты нагрузки. Из-за перенасыщенности рынка системами, поликлиники могут выбрать систему, которая не добавит удобства и ускорения работы врачей и медработников, а только замедлит работу медицинской организации. Наличие множества систем позволяет выявлять недостатки в системах, даёт толчок к их развитию и возможность лучше понимать идеал МИС, к которой нужно стремиться. Необходимо создать безопасное и единое хранилище данных пациентов, с которым могут взаимодействовать разные медицинские учреждения, через те МИСы, которые лучше всего им подходят.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Требований к государственным информационным системам в сфере здравоохранения субъектов Российской Федерации, медицинским информационным системам медицинских организаций и информационным системам фармацевтических организаций : приказ Министерства здравоохранения РФ № 911н от 24.12.2018. URL: <https://base.garant.ru/72217630/> (дата обращения: 25.03.2023).
2. Медицинская информационная система Medods. URL: <https://medods.ru/> (дата обращения: 25.03.2023).
3. Медицинская информационная система Clinic365. URL: <http://www.clinic365.ru/> (дата обращения: 25.03.2023).
4. Медицинская информационная система МедЭлемент. URL: https://medelement.com/page/o_proekte_medelement (дата обращения: 25.03.2023).
5. Медицинская информационная система IC: Медицина. Поликлиника. URL: <https://doctor.eleks.com/en/ehealth> (дата обращения: 25.03.2023).
6. Инфоклиника – обзор МИС и отзывы // Medsteg. Медицинские решения. URL: <https://sdsys.ru/products/infoclinica/> (дата обращения: 25.03.2023).
7. Медицинская информационная система Инфоклиника. URL: <https://med.medsteg.ru/medical-marketing/infoclinica> (дата обращения: 25.03.2023).
8. Медицинская информационная система ПроМед. URL: <https://swantest.promedweb.ru/?c=portal&m=promed&lang=ru> (дата обращения: 25.03.2023).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА СПОРТИВНЫХ ВИДЕОДАНЫХ МЕТОДАМИ ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Дмитрий Вячеславович Матвеев¹, Владимир Вячеславович Хрящев²,
Юрий Александрович Лукашевич³

^{1,2,3}Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, г. Ярославль, Россия

Финансирование: исследование выполнено за счет средств Программы развития Ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова до 2030 г., проект № GM-2023- СП-02/2021 «Разработка системы подсчета и визуализации статистики спортивных игр на основе анализа видеоданных и методов искусственного интеллекта».

На сегодняшний день, в области компьютерного зрения одним из ключевых направлений исследований являются алгоритмы обнаружения и отслеживания объектов на видеоданных. Под детектированием объектов понимается определение их местоположений на изображении или видеокадре. Человек без особого труда способен отслеживать спортсменов во время видеотрансляций матчей. Однако для компьютера задачи детектирования и сопровождения (трекинга) быстро движущихся объектов являются вычислительно сложными. Это связано с рядом факторов [1]:

- динамичностью спортивного мероприятия, а именно высокой скоростью перемещения игроков по площадке;
- взаимодействием спортсменов на площадке (часто возникают ситуации, когда игроки могут находиться очень близко друг к другу);
- наличием оптических препятствий на видеокадрах: засветов, теней, искажений, полученных во время съемки и проч.

В данном исследовании представлены результаты работы сверточной нейронной сети для решения задачи обнаружения и отслеживания спортсменов. Использование алгоритма глубокого обучения на небольших наборах данных часто приводит к неудовлетворительным результатам, а соответствующие выводы, которые могут быть сделаны, могут оказаться неверными [2, 3]. В связи с этим, для обучения выбранного алгоритма JDE был собрана коллекция из четырех общедоступных наборов данных по обнаружению и отслеживанию пешеходов: CalTech Pedestrian, CUHK-SYSU, PRW и MOT-16 Challenge. Обучающие подмножества всех этих наборов данных сформировали большую базу изображений. Тестирование алгоритма JDE осуществлялось на наборе валидационных видеофайлов с конкурса MOT-16 Challenge. Суммарно объем обучающих и тестовых данных с конкурса MOT-16 Challenge составил порядка 1.9 Гб.

Помимо этого, для проверки качества работы модели, тестирование алгоритма осуществлялось также на видеоданных со спортивных мероприятий. Для этого с помощью купольной камеры GV-EVD3100 была проведена съемка 12 отрывков с реальных игр баскетбольных команд в спортивном зале ЯрГУ им. П. Г. Демидова.

В качестве алгоритма численной оптимизации разработанной модели искусственного интеллекта использовался стохастический градиентный спуск с начальной скоростью обучения 10^{-2} . Для более быстрой сходимости модели, на 15-й и 23-й эпохе обучения, скорость оптимизатора уменьшалась в 10 раз. Алгоритм JDE заканчивал свое обучение после совершения 30 эпох обучения. Запуск процессов обучения и тестирования алгоритмов JDE осуществлялся на графическом процессоре суперкомпьютера NVIDIA DGX-1 с использованием технологии параллельных вычислений NVIDIA CUDA [4].

Во избежание переобучения алгоритма, к обучающим данным модели применялись методы аугментации: случайное вращение и масштабирование изображения,

а также случайное изменение яркости, контрастности и насыщенности кадра. При необходимости, входные данные модели приводились к разрешению 1088x608 пикселей.

Критерием оценки качества алгоритма JDE служил коэффициент MOTA (Multiple Object Tracking Accuracy). Ключевой особенностью этого показателя является то, что он напрямую соотносится с тем, как человеческий глаз отслеживает целевые объекты на видеоданных. Исходя из формулы коэффициента, величина MOTA «штрафует» алгоритм трекинга за ложные срабатывания (FP), ложные пропуски (FN), а также ошибки ID switches – переключения на другие объекты при отслеживании. На практике, чаще всего величина MOTA, значение которой лежит в отрезке [0, 1], переводится в проценты.

В результате обучения модели и ее последующего тестирования алгоритм JDE показал результаты, сопоставимые с качеством работы современных моделей обнаружения и отслеживания объектов [5–7]. Так алгоритм DeepSort_2 с прогнозирующей сетью WRN (Wide Residual Connection) (DeepSort_2 + WRN), а также модель CNNMTT с прогнозирующей пятислойной сверточной нейронной сетью (CNNMTT + 5 layer CNN), показали значения метрики MOTA, равные 61.4 % и 65.2 % соответственно. Для тестовой выборки базы данных MOT-16 Challenge, качество обнаружения и отслеживания объектов с помощью алгоритма JDE составило 62.6 %. В то же самое время, алгоритмы DeepSort_2 + WRN и CNNMTT + 5 layer CNN, продемонстрировали существенно более медленную скорость работы: 8 и 6 FPS соответственно против 18 FPS – скорости, полученной с помощью модели JDE. Сравнение качества работы алгоритмов детектирования и отслеживания объектов на тестовой выборке базы данных MOT-16 Challenge приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение метрик работы алгоритмов

Алгоритм	Метрики	
	MOTA	FPS
DeepSort_2 + WRN	61.4 %	8
CNNMTT + 5-layer CNN	65.2 %	6
JDE	62.6 %	18

Визуальные результаты работы алгоритма JDE для видеозаписей спортивных мероприятий, снятых с диагонального ракурса купольной камеры GV-EVD3100 показаны на рис. 1.



Рис. 1. Результат работы алгоритма JDE для видеозаписей, снятых на купольную камеру

Согласно проведенным тестовым испытаниям алгоритм JDE имеет большее количество ошибок вида ID switches. Основная причина такого эффекта заключается в недостаточно точном обнаружении спортсменов на игровой площадке, когда один из игроков имеет достаточно большую площадь перекрытия другим объектом и как следствие, алгоритм JDE совершает ошибки переключения на другие объекты при отслеживании. Для данного случая, в будущем планируется улучшить качество работы алгоритма JDE путем его обучения на видеокадрах, полученных при съемке состязаний, а также с помощью настройки гиперпараметров модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минаев Е. Ю., Кутикова В. В., Никоноров А. В. Трекинг объектов в видеопотоке на основе сверточных нейронных сетей и фрактального анализа // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2018) : сб. тр. IV Междунар. конф. и молодежной школы. Самара : Новая техника, 2018. С. 2792–2798.
2. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. М. : ДМК Пресс, 2017, 652 с.
3. Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб. : Питер, 2018, 480 с.
4. Сандерс Дж., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах. Введение в программирование графических процессоров. М. : ДМК Пресс, 2013. 232 с.
5. Щелкунов А. Е., Ковалев В. В., Морев К. И., Сидько И. В. Метрики оценки алгоритмов автоматического сопровождения // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2020. № 1. С. 233–245.
6. Zagoruyko S., Komodakis N. Wide Residual Networks. URL: <https://arxiv.org/pdf/1605.07146.pdf>
7. Mahmoudi N., Ahadi S. M., Rahmati M. Multi-target tracking using CNN-based features: CNNMTT // Multimedia Tools and Applications. 2019. Vol. 78, № 6. P. 7077–7096.

РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ ЖИДКОЙ СТАЛИ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Александр Евгеньевич Назаровский¹, Владимир Вячеславович Хрящев²,
Анастасия Сергеевна Андержанова³, Денис Борисович Волков⁴,
Владимир Николаевич Егоров⁵**

^{1,2,3}Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, г. Ярославль, Россия
^{4,5}ООО «Точка зрения», г. Ярославль, Россия

Внедрение систем технического зрения, основанных на методах искусственного интеллекта в производственный процесс, очень часто даёт ещё одно важное преимущество – возможность интеграции решения без необходимости остановки производственной цепочки.

В рамках данной области существует проблема отсутствия контроля над заполнением расплавленной сталью ковша. В случае заполнения ковша свыше допустимого значения существует вероятность разлива содержимого при перемещении ковша, что может повлечь за собой серьёзные последствия, вплоть до смерти сотрудников производства. В случае же недостаточного заполнения ковша падает выработка производства, что влечёт за собой уменьшение прибыли. Автоматизированное измерение уровня заполненности ковша сталью позволит заполнять ковш оптимальным количеством.

Для извлечения информации об уровне жидкости в стальковше из объемных наборов изображений вместо ручной обработки информации используются различные

методы компьютерного зрения и глубокого обучения. Особенно эффективным инструментом для задач обработки изображений являются сверточные нейронные сети [1, 2]. Структурно, сверточная нейронная сеть состоит из трех элементов: сверточных слоев, слоев повышения или понижения дискретизации (слои пулинга) и полносвязных слоев. Входное изображение на каждом сверточном слое подвергается операции свертки с определенным набором ядер свертки размером 3x3, 5x5 или др. После сверточных слоев идут слои понижения дискретизации, для уменьшения разрешения изображения. Полносвязный слой используется в качестве завершающего слоя нейронной сети для окончательной классификации изображения. Схема процесса обучения нейронной сети представлена на рисунке 1.

Входное изображение подвергается предварительной обработке, включая извлечение кадра из видеопотока с частотой не менее 1 кадра в минуту. Далее происходит извлечения из большого изображения части (патч), содержащей целевую область размером 1024x1024 пикселя. Использование патчей большего размера также возможно, но это приведет к значительному увеличению количества обучаемых параметров, что потребует значительно большего количества обучающих примеров, а также квадратичное повышение необходимых вычислительных мощностей. Затем происходит размножение полученных патчей путем проведения процедуры аугментации. После ее проведения происходит обучение нейронной сети путем прогона всех имеющихся патчей через нейронную сеть несколько раз. В результате, получается набор численных значений весов нейронной сети, которые в дальнейшем можно использовать для сегментации изображений.



Рис. 1. Схема обучения нейросетевого алгоритма сегментации

В данном исследовании использованы изображения, полученные из видеоданных в формате кадров, с разрешением 3072x1728 пикселей с тремя каналами в следующем порядке: синий, красный, зеленый. В качестве преобработки исходных данных выполнены следующие действия:

- преобразование исходных изображений к патчам, содержащим целевые объекты;
- нормализация значений яркости пикселей;
- преобразование порядка яркостных каналов изображения.

Первым этапом подготовки датасета является преобразование набора больших изображений к набору изображений меньшего размера (патчей). Для этого все большие изображения были поделены на части размером 1024x1024 пикселей с условием

попадания в них хотя бы части и целого целевого объекта. Полученные патчи были размечены на изображения-маски в формате colormar с соответствующими целевыми объектами в программе LabelMe. В результате, для в качестве классов целевых объектов выбраны «лафет» и «сталь». В результате формирования набора патчей сформирована база из 39 500 изображений, распределенная на подвыборки следующим образом: тренировочная – 37 000, тестовая – 1000, валидационная – 1500.

В настоящей работе рассмотрен алгоритм сегментации BiSeNetV2 на фреймворке PaddlePaddle [3, 4]. Обучение сегментатора проводилось по двум классам: «сталь» и «лафет». В качестве дополнительного класса «фон» обозначены области изображения, не являющиеся целевыми. В качестве функции потерь использована категориальная кросс-энтропия. В качестве алгоритма оптимизации был использован алгоритм Adam с коэффициентом обучения 0,001. Обучение продолжалось 500 эпох с батчем 16. Обучение проведено на суперкомпьютере NVIDIA DGX-1, для обучения использована одна видеокарта GPU TESLA V100 с 16 ГБ видеопамяти. Тестирование проведено на модели после лучшей эпохи. Результаты тестирования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты тестирования нейронной сети BiSeNetV2

Метрика \ Класс	«фон»	«лафет»	«сталь»
IoU	0,995	0,972	0,976
mIoU	0,981		

Для оценки качества сегментации изображения используется индекс Жаккарда (IoU). Индекс Жаккарда (IoU) является количественной мерой оценки пересечения предсказания разработанного алгоритма (prediction) и эталонной маски (ground_truth). IoU рассчитывается как количество пикселей, общих между предсказанной и эталонной маской, деленное на общее количество пикселей, присутствующих в обеих масках, определенная формулой (1):

$$IoU = \frac{\text{prediction} \cap \text{ground_truth}}{\text{prediction} \cup \text{ground_truth}} \quad (1)$$

Таким образом, оценка качества тестируемого алгоритма проведена по индексу Жаккарда IoU выражаемая формулой 1 для каждого класса, а также mIoU, усредненная по всем классам.

Высокие значения метрик, приведенных в табл. 1 говорят о том, что нейронная сеть отлично сегментирует незнакомое изображение, содержащее хотя бы один из приведенных классов в режиме реального времени (с частотой смены кадров не менее 25 кадров/сек). Однако, качество сегментирования может быть ниже, если проводить сегментацию на изображениях, контекстно сильно отличных от тех, что использовались в тренировочной выборке или на изображениях плохого качества. Данная проблема решается путем дообучения существующей сети на дополнительных данных с учетом одинаковых условий их предобработки и качества, а также при использовании методов аугментации, позволяющих искусственно размножить обучающие данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. М. : ДМК Пресс, 2017, 652 с.
2. Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб. : Питер, 2018. 480 с.
3. Changqian Yu., Changxin Gao, Jingbo Wang, Gang Yu, Chunhua Shen, Nong Sang. BiSeNet V2: Bilateral Network with Guided Aggregation for Real-time Semantic Segmentation // Cornell University. arXiv:2004.02147v1, 2020. P. 1.

АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

**Вадим Александрович Агеев¹, Сергей Николаевич Автаев²,
Денис Викторович Пяткин³, Ильдар Эдуардович Гусев⁴**

^{1,2,3,4}Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Надежность электрических сетей является одной из актуальных задач в области электроэнергетики. Так как электрическая сеть, как и любая другая сложная система, состоит из отдельных элементов, то и основной задачей при оценке надежности будет являться задача поиска наиболее критичных с точки зрения возникновения отказа элементов сети.

Одним из методов, позволяющих определять значения комплексных показателей надежности элементов электрических сетей с учетом их взаимодействия со смежными элементами в расчетной схеме является матричный метод [5]. Данный метод был реализован в модуле расчета и анализа комплексных показателей надежности для программного комплекса [2, 4]. Также для данного модуля был разработан алгоритм, позволяющий автоматизировать процесс обработки результатов расчета. Алгоритм позволяет выполнить автоматическую сортировку результатов расчета комплексных показателей надежности по элементам электрических сетей (линии электропередачи, трансформаторы, шины распределительных устройств, коммутационные аппараты), по классу напряжения, по принадлежности к структурному подразделению электроснабжающей организации (объединение, филиал, район, подстанция). На основе максимальных и минимальных значений комплексных показателей надежности строится сводная диаграмма значений для элементов электрических сетей выбранного структурного подразделения электроснабжающей организации. Полученные в результате работы алгоритма данные можно выгрузить в приложение Microsoft Excel.

Эффективность применения разработанного алгоритма предлагается оценить на примере электрических сетей Кочкуровского РЭС, входящего в состав Саранского производственного отделения филиала ПАО «Россети Волга» – «Мордовэнерго». Внешний вид окна программного комплекса с загруженным файлом расчетной схемы электрических сетей Кочкуровского РЭС, составленной на основании [1, 3] представлен на рис. 1.

Сводная диаграмма значений комплексных показателей надежности для элементов электрических сетей Кочкуровского РЭС при нормальном установившемся режиме представлена на рис. 2. Значения комплексных показателей надежности для наиболее критичных с точки зрения возникновения отказа элементов электрических сетей Кочкуровского РЭС представлены в табл. 1.

Видно, что наиболее высокая вероятность наступления отказа у коммутационных аппаратов напряжением 110 кВ и линий электропередачи напряжением 110 кВ. При этом установлено, что среди коммутационных аппаратов наиболее критичным с точки зрения возникновения отказа является разъединитель ЛР-110-2 ПС 110 кВ Сабаево со значением данного показателя надежности $5,53\text{E-}04$ о.е., а среди линий электропередачи – ВЛ 110кВ 616км тяговая – Воеводское тяговая со значением $5,23\text{E-}04$ о.е.

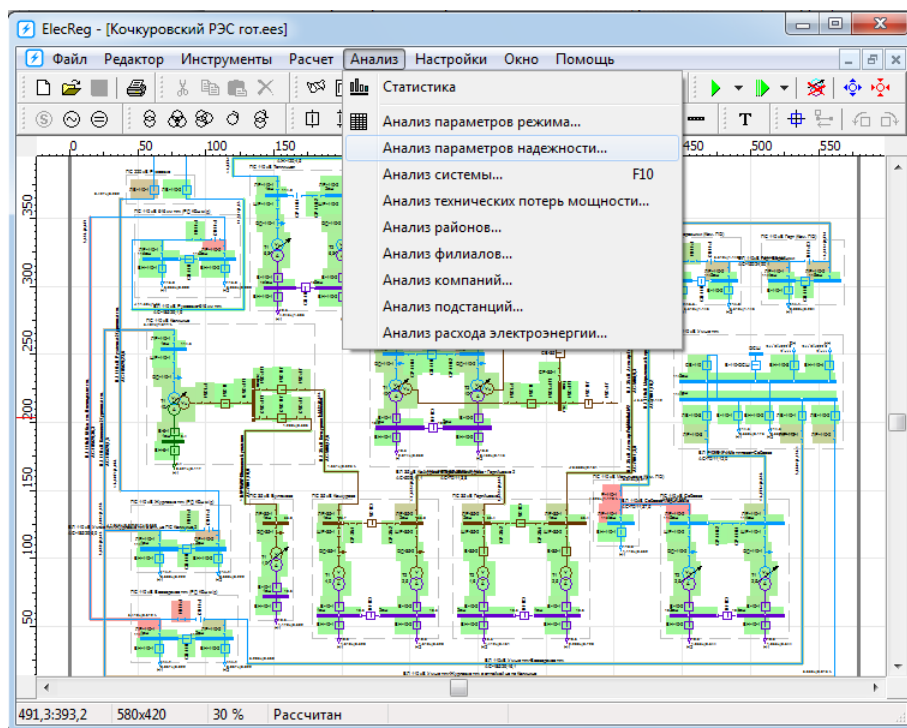


Рис.1. Окно программного комплекса с загруженным файлом расчетной схемы электрических сетей Кочкуровского РЭС

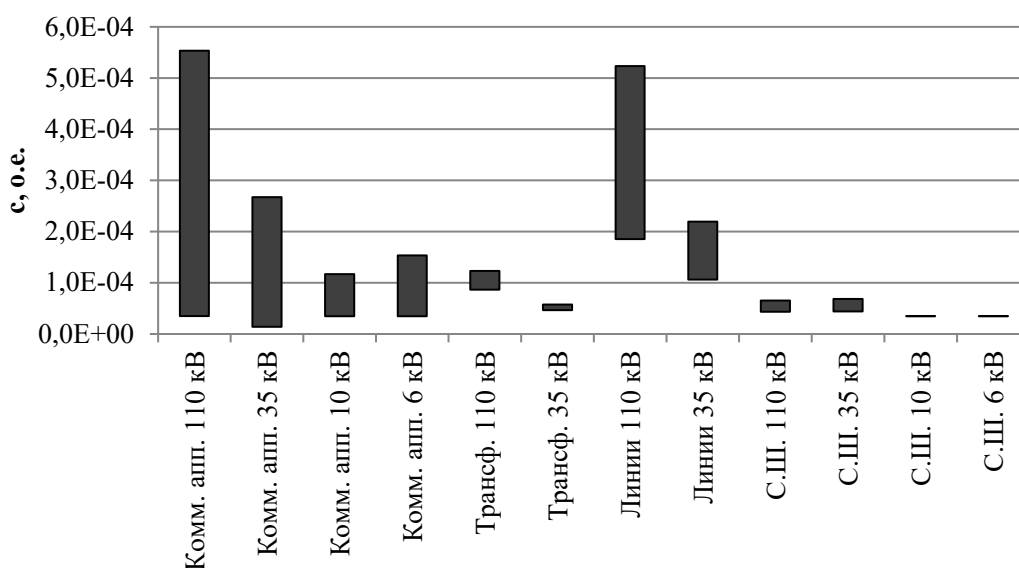


Рис. 2. Сводная диаграмма значений комплексных показателей надежности для нормального установившегося режима Кочкуровского РЭС

Также была выполнена оценка изменения показателей надежности при выходе из строя ВЛ 110 кВ 616км тяговая – Воеводское тяговая. Сводная диаграмма значений комплексных показателей надежности для элементов электрических сетей Кочкуровского РЭС при данном режиме представлена на рисунке 3. Видно, что диапазоны значений комплексных показателей надежности для оставшихся в работе элементов электрических сетей Кочкуровского РЭС не изменилась. Наиболее критичным с точки зрения возникновения отказа элементом электрических сетей Кочкуровского РЭС остается разъединитель ЛР-110-2 ПС 110 кВ Сабасово со значением комплексного показателя надежности $5,53E-04$ о.е.

Таблица 1

Значения комплексных показателей надежности для наиболее критичных элементов электрических сетей Кочкуровского РЭС

Название элемента	Подстанция	Класс U, кВ	α , о.е.	t, ч	ω , 1/год	c, о.е.
ЛР-110-2	ПС 110 кВ Сабасево	110,00	0	11,0	0,010	5,53E-04
ВЛ 110кВ 616км тяговая – Воеводское тяговая	—	110,00	0	9,0	0,472	5,23E-04
T1	ПС 110 кВ Калинино	110,00	0	70,0	0,014	1,23E-04
2сш 35 кВ	ПС 35 кВ Горайновка	35,00	0	7,0	0,060	6,85E-05

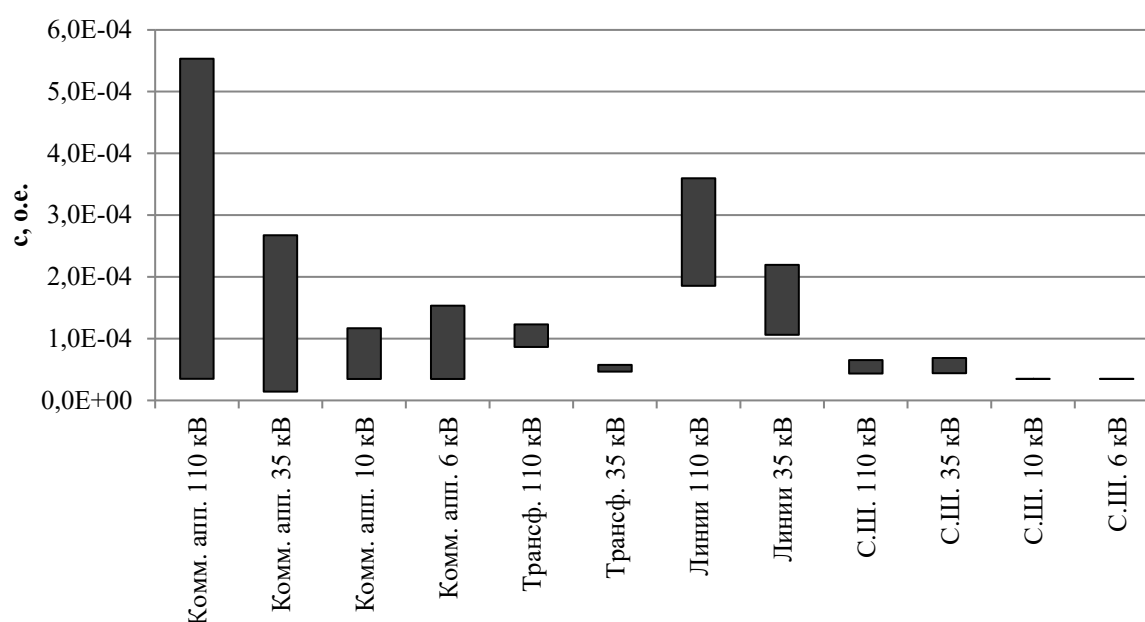


Рис. 3. Сводная диаграмма значений комплексных показателей надежности при выходе из строя ВЛ 110 кВ 616км тяговая – Воеводское тяговая

Проведенное исследование показало, что предложенный алгоритм позволяет автоматизировать процесс анализа результатов расчета комплексных показателей надежности элементов электрических сетей. Были определены элементы электрических сетей Кочкуровского РЭС с наибольшей вероятностью наступления отказа и смоделирован режим при котором данные элементы вышли из строя. В ходе сравнительного анализа полученных результатов был сделан вывод, что при выходе из строя элементов электрических сетей с наибольшей вероятностью наступления отказа для оставшихся в работе элементов электрических сетей Кочкуровского РЭС значения показателей надежности не изменилась.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интерактивная карта загрузки центров питания 35 кВ и выше // Портал электросетевых услуг РОССЕТИ. URL: https://портал-тп.рф/platform/portal/tehprisEE_centry_pitania (дата обращения: 12.09.2023).
2. Агеев В. А., Душутин К. А., Репьев Д. С., Казаков Д. В. Исследование надежности электрических сетей с применением статистических данных // Промышленная энергетика. 2023. № 3. С. 2–8. doi: 10.34831/EP.2023.78.15.001
3. Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Республики Мордовия на 2021–2025 годы : распоряжение Главы Республики Мордовия № 237-РГ от 30.04.2020 :

кодекс // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/570924817> (дата обращения: 12.09.2023).

4. Свид. об официальной регистрации программы для ЭВМ 2018612344 Российская Федерация. Программный комплекс для расчета режимов электрических сетей / Агеев В. А., Волгушев П. А., Душутин К. А.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (RU). № 2017663623 ; заявл. 26.12.2017 ; опубл. 15.02.2018, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.

5. Папков Б. В., Крайнов С. П. Методика оценки надежности схем электрических соединений энергообъектов // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2009. Вып. 59. С. 131–140.

ВЛИЯНИЕ УСТРОЙСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

**Константин Александрович Душутин¹, Алексей Валерьевич Дудин²,
Аль-Джумаили Омер Мувафак Абдулджаббар³,
Кирилл Владимирович Шумкин⁴, Татьяна Борисовна Душутина⁵**

^{1,2,3,4}Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

⁵Средняя общеобразовательная школа № 22, г. Саранск, Россия

Одной из основных задач в области электроэнергетики является задача, направленная на снижение величины потерь электрической энергии. Данная задача относится к категории оптимизационных задач и наиболее универсальными и современными методами, применяемым для их решения являются методы, в основе которых лежат эволюционные алгоритмы [1].

Вариант такого алгоритма, предназначенный для поиска оптимальных положений устройств регулирования напряжения силовых трансформаторов, был разработан в Институте механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» и реализован на основе программного комплекса для расчета режимов электрических сетей [5, 6]. В качестве критериев оптимизации в предлагаемом алгоритме можно использовать значения отклонения напряжения в определяющих узлах схемы и значения потерь активной мощности в ветвях схемы.

Эффективность применения разработанного генетического алгоритма предлагается оценить на примере электрических сетей Рузаевского РЭС, входящего в состав Саранского производственного отделения филиала ПАО «Россети Волга» – «Мордовэнерго». Внешний вид окна программного комплекса с загруженным файлом расчетной схемы электрических сетей Рузаевского РЭС, составленной на основании [2, 4] представлен на рис. 1.

Значения параметров генетического алгоритма, используемые при оптимизации режимов электрических сетей, представлены в табл. 1.

При сопоставлении параметров режимов, полученных при различных критериях оптимизации, был сделан вывод, для достижения минимальных значений потерь активной мощности во всех режимах достаточно оптимизации по отклонению напряжения на шинах подстанций.

Структура потерь активной мощности для рассмотренных режимов работы электрических сетей Рузаевского РЭС представлена в табл. 2, а технико-экономические показатели рассмотренных режимов, определенные на основании [3] приведены в табл. 3.

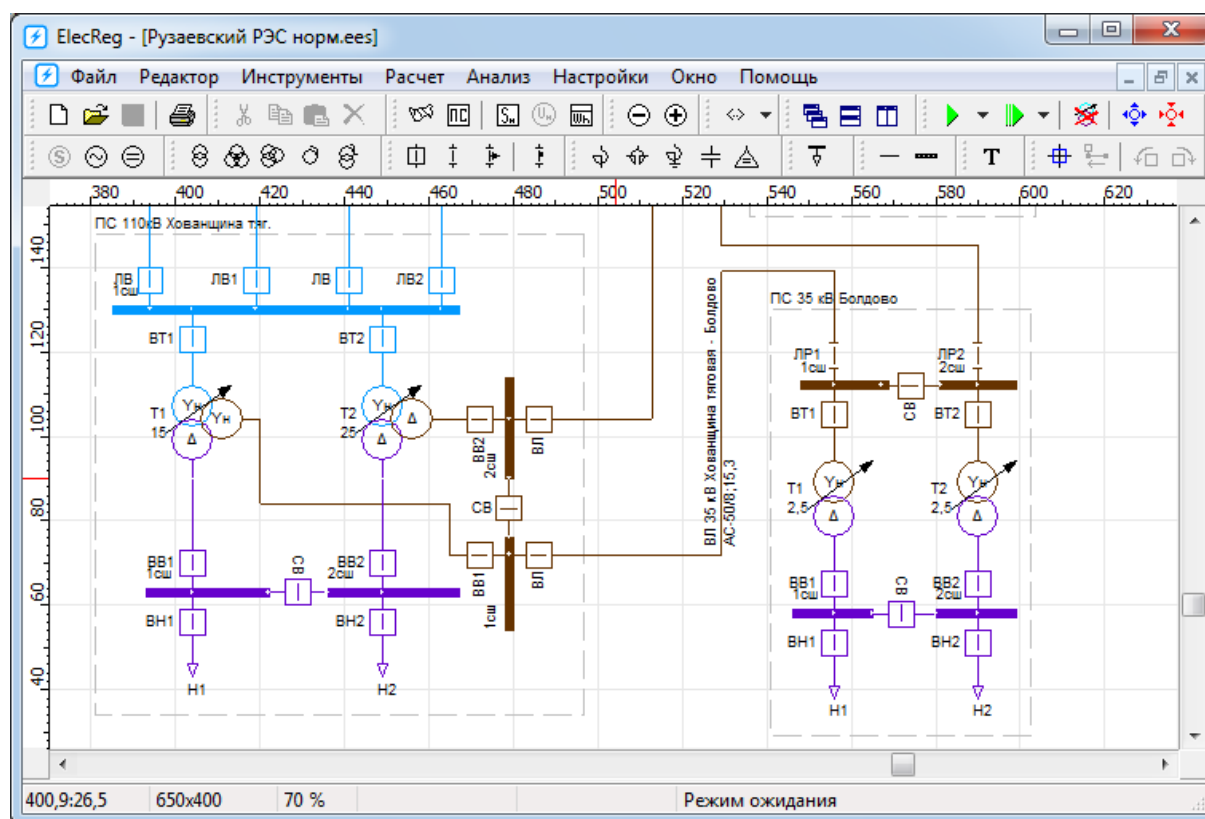


Рис. 1. Окно программного комплекса с загруженным файлом расчетной схемы электрических сетей Рузаевского РЭС

Таблица 1

Значения параметров генетического алгоритма

Параметр генетического алгоритма	Значение
Количество хромосом	50
Максимальное количество эпох генетического алгоритма	20
Вероятность кроссовера	0,9
Вероятность мутации	0,1
Вероятность инверсии	0,01
Максимальное количество итераций для расчета режима	15
Метод оптимизации	Минимум
Метод кроссовера	Жадный кроссовер
Метод мутации	По двум точкам во всех генах
Метод распределения начальных значений	от минимума до максимума
Метод оценки приспособленности	по среднеквадратичному отклонению на шинах СН/НН
Штрафной коэффициент при $\Delta U \leq \Delta U_{\max}$	0,001
штрафной коэффициент при $\Delta U > \Delta U_{\max}$	0,1

Графическая интерпретация работы генетического алгоритма при оптимизации нормального установившегося режима представлена на рис. 2, а одного из возможных ремонтных режимов – на рис. 3.

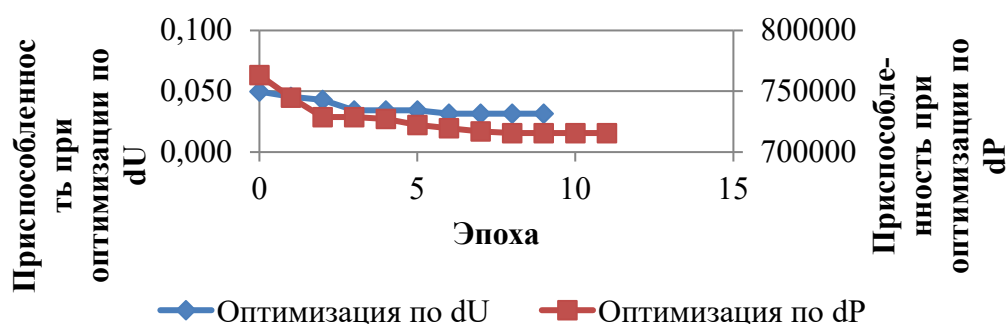


Рис. 2. Графическая интерпретация работы генетического алгоритма при оптимизации нормального установившегося режима

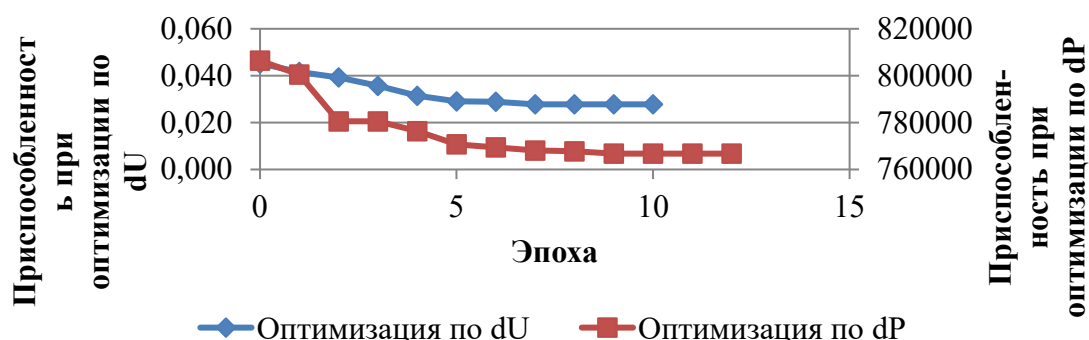


Рис. 3. Графическая интерпретация работы генетического алгоритма при оптимизации ремонтного режима

Таблица 2

Структура потерь активной мощности

Наименование структурных составляющих	Режим		
	Нормальный	Ремонтный до оптимизации	Ремонтный после оптимизации
Условно-постоянные потери мощности в трансформаторах, кВт	22,975	22,494	23,653
Нагрузочные потери мощности в элементах, кВт, в т.ч.:	5,884	104,375	95,379
Потери в трансформаторах, кВт	2,026	2,057	1,959
Потери в линиях, кВт	3,858	102,318	93,420
Суммарные технологические потери мощности, кВт	28,859	126,869	119,032

Таблица 3

Технико-экономические показатели

Показатель	Режим		
	Нормальный	Ремонтный до оптимизации	Ремонтный после оптимизации
Потери мощности, кВт	28,859	126,869	119,032
Потери электрической энергии, кВт·ч	111460,862	489999,427	459729,885
Стоимость потерь, тыс.р.	493,772	2170,697	2036,603

Видно, что после оптимизации ремонтного режима нагрузочные потери активной мощности в трансформаторах снизились на 4,78 %, а в линиях электропередачи – на 8,70 %. Условно-постоянные потери мощности в трансформаторах при этом возросли на 7 %. Значение потерь электрической энергии для Рузаевского РЭС снизилось на 30269,542 кВт•ч, а их стоимость на 134,094 тыс. руб.

Таким образом, проведенное исследование показало, что в большинстве случаев задача оптимизации режимов электрических сетей по минимуму потерь активной мощности путем изменения положений устройств регулирования напряжения силовых трансформаторов не актуальна и достаточно оптимизации по минимуму отклонения напряжения на шинах подстанций, что соответствует штатной работе устройств РПН и ПБВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы / под ред. В. М. Курейчика. 2-е изд., испр. и доп. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. 320 с.
2. Интерактивная карта загрузки центров питания 35 кВ и выше // Портал электросетевых услуг РОССЕТИ. URL: https://портал-тп.рф/platform/portal/tehprisEE_centry_pitania (дата обращения: 12.09.2023).
3. Об установлении тарифов на электрическую энергию для населения и приравненных к нему категорий потребителей по Республике Мордовия на 2023 год : приказ № 170 от 15.11.2022 // Официальный интернет-портал правовой информации : [сайт]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/1301202211180009> (дата обращения: 12.09.2023).
4. Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Республики Мордовия на 2021–2025 годы : распоряжение Главы Республики Мордовия № 237-РГ от 30.04.2020 : кодекс // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/570924817> (дата обращения: 12.09.2023).
5. Свид. об официальной регистрации программы для ЭВМ 2018612344 Российская Федерация. Программный комплекс для расчета режимов электрических сетей / Агеев В. А., Волгушев П. А., Душутин К. А. ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (RU). № 2017663623 ; заявл. 26.12.17 ; опубл. 15.02.18, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
6. Ageev V. A., Dushutin K. A., Volgushev P. A., Burnaev A. I. Application of the Genetic Algorithm During Electric Network Mode Optimization // 2020 2nd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). USA, 2020. P. 1–4. doi: 10.1109/REEPE49198.2020.9059218 (дата обращения: 12.09.2023).

ЭНЕРГИЯ УЗЛА КАК МЕТРИКА БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Андрей Леонидович Приоров¹, Егор Дмитриевич Гурьянов²

^{1,2}Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, г. Ярославль, Россия

Энергия узла – наиболее характерная метрика для беспроводных сенсорных сетей (БСС) ввиду специфики постройки узлов и питания их от батареи. Мощность и энергия являются наиболее критическими ресурсами в большинстве сетей класса БСС. Узлы сети могут быть подключены к центральной электрической сети, аккумуляторам, т. н. альтернативным источникам энергии (солнечным батареям, ветряным мельницам, различного рода преобразователям вибраций в электроэнергию и т. д.). Некоторые узлы могут сочетать различные источники питания и устройства хранения энергии, что приводит к различным характеристикам узла (допустимое среднее потребление тока) в разные временные периоды, которые могут измеряться миллисекундами, часами и даже годами. Документ RFC6551 [1] определяет два уровня точности. Самое простое решение

основывается на 2-битовом поле, кодирующем три вида источников питания: "подключенный к централизованной сети", "аккумулятор", и "альтернативный" (солнечная или вибро- энергия и т. д.). Этот простой подход может быть достаточным для многих приложений. Для узлов с источником питания типа «альтернативный» 8-битное значение представляет собой мощность, предоставляемую «альтернативным» источником P_{in} , деленную на мощность, потребляемую приложением P_{out} :

$$E = \frac{P_{in}}{P_{out}} * 100\% \quad (1)$$

Результат расчета для узлов, производящих больше энергии, чем они потребляют, превысит 100 процентов. Конечно, при динамически изменяющейся структуре сети оценка оставшейся энергии батареи и фактическое энергопотребление могут быть сложны для расчета. Если узел может измерить своё среднее энергопотребление, то E можно рассчитать как отношение желаемой максимальной мощности P_{max} к фактической мощности в данный момент времени:

$$E = \frac{E_0/T}{P_{now}} = \frac{P_{max}}{P_{now}} * 100\%, \quad (2)$$

где E_0 – начальная энергия, T – желаемый срок службы.

Оптимизация маршрутов соединения узлов может проходить по различным параметрам, например через узлы с максимальной остаточной ёмкостью или через узлы, подключённые к централизованной сети питания. Следует отметить, что часть оставшейся энергии (E) может оказаться бесполезной, когда количество энергии, которое могут накопить узлы (например, их емкость аккумуляторов) существенно различается [2]. Также неестественная активность узла, с учётом усреднённых параметров энергопотребления, может говорить о подозрительном поведении и должна быть учтена в политике безопасности БСС.

Проведен эксперимент для вычисления необходимых параметров метрики. В качестве искомых параметров использовались:

- Max Power – максимальная доступная энергия аккумуляторной батареи;
- Threshold – пороговое значение энергии аккумуляторной батареи, при которой узел способен работать как оконечное оборудование;
- Low energy – минимальная энергия аккумуляторной батареи, при которой узел отправляет последний пакет данных;
- Node lifetime – время жизни узла от полного заряда до отключения.

Технический комплекс – автономная мобильная платформа (АМП) собственной разработки [3], на основе которого проводились исследования, имеет узлы с аккумуляторной батареей и позволяет исследовать данные параметры устройств при различных параметрах сети.

Одним из факторов, приводящих к увеличению энергопотребления, является расстояние до базового узла. Для изучения зависимости времени жизни узла сети от расстояния до выделенного узла получения данных проведено исследование с участием двух оконечных устройств, взаимодействующих по принципу точка – точка. Эксперимент 1 проводился при трех различных удаленностях от базового узла: 1 метр; 3 метра; 6 метров. Устройство – передатчик с ограниченным временем жизни передавало на приемник с автономным питанием 1 раз в 20 секунд информацию об оставшемся напряжении в аккумуляторной батарее. Базовый узел обрабатывал данные и записывал в таблицу получаемое напряжение, а также вел подсчет времени жизни сети. Модуль NRF24L01+ имеет три уровня усиления. Данный эксперимент проводился при постоянном этом параметре, уменьшение времени жизни связано с тем, что узлу приходится отправлять более мощные сигналы, чтобы достичь базовой станции. Это увеличивает энергопотребление и сокращает время жизни узла. Заряд аккумуляторной батареи, получаемый с передатчика, представлен на рис. 1.

Из результатов измерения выявлено, что до 3,5 вольт происходит равномерное уменьшение напряжение в аккумуляторной батарее узла, а после данного порога происходит увеличение скорости разряда батареи, при этом передатчик способен передать до 17 сообщений в диапазоне от 3,5 до 2,8 вольт до полного отказа сети. Увеличение расстояния между исследуемыми узлами сети уменьшает время жизни всей сети на 1,5% на каждый метр увеличенного расстояния. Максимальное время жизни такой сети.

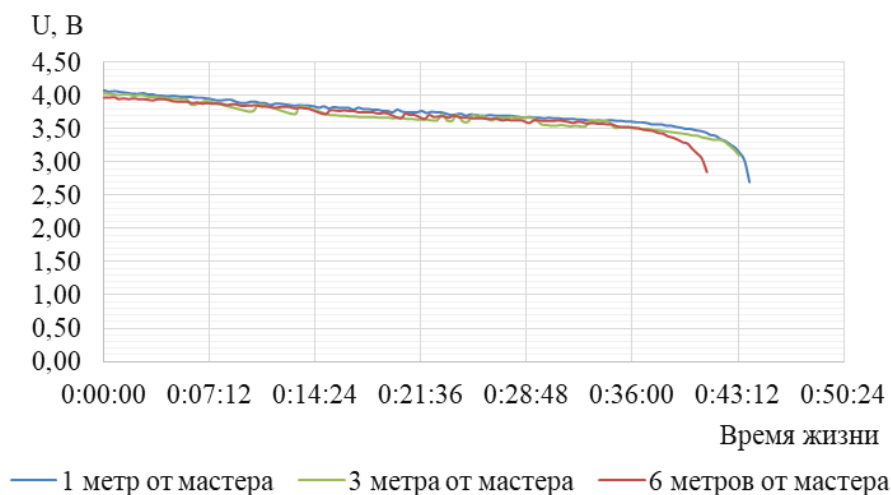


Рис. 1/ Результат падения напряжения в автономном устройстве составило 43 мин. 59 с, минимальное 41 мин. 25 с. Так же получены энергетические параметры устройства-передатчика, без подключенных к нему дочерних узлов

Проведём дополнительный эксперимент с использованием модуля тока и напряжения INA219 (CJMCU-219), а также библиотеки Adafruit INA219, которая даёт возможность считывать значения тока и напряжения и рассчитывать потребляемую мощность. Данный модуль установлен на АМП. Для контроля остаточной энергии узла использовалась упрощённая формула:

$$T = \frac{E * U}{P}, \quad (3)$$

где T – время автономной работы источника питания (ч); E – ёмкость аккумулятора (А*ч); U – напряжение источника питания (В); P – мощность нагрузки (Вт).

В данном случае измерялась мощность, потребляемая нагрузкой для расчёта времени жизни по формуле 3. Логическое соединение сети соответствует эксперименту 1, дистанция между узлами 1 метр. Проведены измерения при трёх режимах работы:

1. Функционирование только микроконтроллера и модуля радиосвязи;
2. Измерение параметров АМП без движения и модуля радиосвязи;
3. Измерение параметров при движении АМП и работе модуля радиосвязи.

В первом случае измеренные показатели $P = 172$ мВт. Соответственно при расчёте по формуле 3 получаем:

$$T = \frac{E * U}{P} = \frac{250 \text{ мАч} * 3,3 \text{ В}}{175 \text{ мВт}} \approx 4,5 \text{ ч.} \quad (4)$$

Во втором случае $P = 1010$ мВт. Соответственно расчётное время жизни 49 минут, что в целом согласуется со временем, полученным в эксперименте 1.

В третьем случае – АМП в движении – $P = 1753$ мВт. При расчёте по формуле 3 получим время жизни 0,47 ч или 28 минут. Таким образом, для исследуемой БСС за время жизни узла примем 25 минут для учёта возможности работы узла в качестве ретранслятора.

В общем же случае следует учитывать, что мощность нагрузки будет изменяться с течением времени и не будет являться постоянной величиной, поэтому контролировать параметры потребляемой мощности необходимо постоянно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Routing Metrics Used for Path Calculation in Low-Power and Lossy Networks (RFC 6551). URL: <http://datatracker.ietf.org/doc/rfc6551/> (дата обращения: 09.08.2023).
2. Датьев И. О. Маршрутные метрики многошаговых беспроводных самоорганизующихся сетей // Труды Кольского научного центра РАН. 2015. № 3 (29). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/marshrutnye-metriki-mnogoshagovyh-besprovodnyh-samoorganizuyuschih-setey> (дата обращения: 28.05.2023).
3. Приоров А. Л., Гурьянов Е. Д. Исследование характеристик кластера адаптивной динамической кластерной БСС для малых мобильных объектов // Цифровая обработка сигналов и ее применение (DSPA–2023) : докл. XXV Междунар. конф. (г. Москва, 29–31 марта 2023 г.). М. : Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова, 2023. С. 317–322. EDN: DPDNR
4. Лихтциндер Б. Я. Беспроводные сенсорные сети : учеб. пособие. М. : Горячая линия – Телеком, 2020. 236 с.
5. Копнин Н. М., Муравьев К. А., Серова Е. М. Методы увеличения времени жизни беспроводных сенсорных сетей // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2020. № 1. С. 167–169.

РАСПОЗНАВАНИЕ МОДУЛИРОВАННЫХ РАДИОСИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**Анастасия Михайловна Ушакова¹, Андрей Леонидович Приоров²,
Владислав Дмитриевич Набилков³, Михаил Александрович Лаврентьев⁴,
Евгений Владимирович Куприянов⁵**

^{1,2,3,4,5} Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, г. Ярославль, Россия

Введение

Автоматическое распознавание видов модуляции – предшествующий процесс демодуляции сигнала на физическом уровне [1]. В настоящее время он привлекает все большее внимание со стороны цифровой обработки сигналов.

В последние десятилетия в системах связи использовались многочисленные передовые методы аналоговой и цифровой модуляции для достижения баланса между эффективностью спектра и надежностью передачи [2]. Автоматическое распознавание видов модуляции принимаемых сигналов позволяет приемнику осуществлять дальнейшую их обработку и демодуляцию, поэтому приоритетной задачей для многих программно-определяемых систем современной радиосвязи является разработка эффективного алгоритма распознавания видов модуляции.

Целью работы является разработка модели сверточной нейронной сети (СНС) для распознавания цифровых видов модуляции радиосигналов.

Разработка алгоритма классификации модулированных радиосигналов с использованием нейронных сетей

В качестве основного инструмента для решения задачи распознавания видов модуляции радиосигналов используется гибридная сверточная нейронная сеть архитектуры CLDNN (Convolutional Long Short-Term Deep Neural Network) [3]. Архитектура сети представляет собой комбинацию сверточной нейронной сети, слоя LSTM и полносвязных слоев. Данная архитектура обусловлена ее высокой производительностью в задачах, связанных с обработкой последовательностей и временных рядов [4].

Данные на входе сети представляют собой временные последовательности – отсчеты I/Q компонент. Для каждого сверточного слоя в качестве входных данных используются признаки предыдущего слоя. Слой LSTM обеспечивает поиск временной когерентности различных типов модуляции за счет имеющейся информации о предыдущем состоянии.

Для проведения обучения модели нейронной сети использован набор данных, состоящий из сгруппированных по величине отношения сигнал/шум (ОСШ) и типу модуляции образцов I/Q компонент. Используемый набор данных RADIOML 2018.01A содержит 24 класса модуляций с различными значениями ОСШ в диапазоне от –20 до 30 дБ [5].

Результаты оценки среднего значения точности классификации модулированных радиосигналов при различном значении ОСШ представлены на рис. 1.

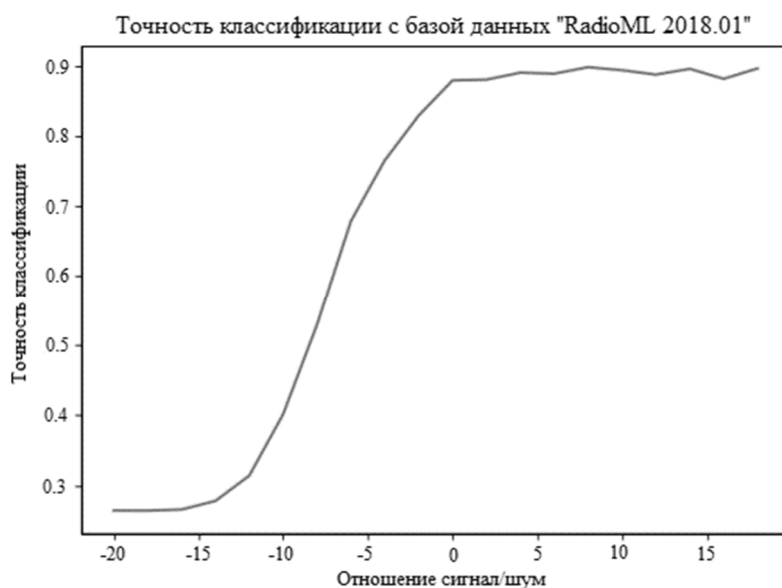


Рис. 1. Зависимость точности классификации от значений ОСШ

Согласно результатам проведенного исследования, разработанный алгоритм на основе нейронной сети архитектуры CLDNN позволяет классифицировать 10 различных типов цифровой модуляции.

Заключение

Результатом работы является гибридная модель сверточной нейронной сети, применение которой в задачах классификации цифровых видов модуляции радиосигналов обеспечивает распознавание со средней точностью 88,7 % при отношении сигнал/шум 0 дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дам Ван Ньить. Нейросетевые технологии в задаче автоматического распознавания видов цифровой модуляции : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2018.
2. Tejwant S., Manish M. Mr. Performance comparison of fuzzy c-means with respect to other clustering algorithm // International journal of advanced research in computer science and software engineering. 2014. May. P. 89–93.
3. Sainath T. N., Vinyals O., Senior A., Sak H. Convolutional long short-term memory, fully connected deep neural networks // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 2015. P. 4580–4584.
4. Zhang D., Ding W., Zhang B., Xie C., Li H., Liu C., Han J. Automatic modulation classification based on deep learning for unmanned aerial vehicles // MDPI Sensors (Basel). 2018.
5. RF datasets for machine learning. URL: <https://www.deepsig.ai/datasets>

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОМЕЩЕНИЙ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА

Сергей Олегович Маркелов¹, Василий Николаевич Ашанин²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Измерение таких параметров растения как: общая площадь листового покрова, количество листьев, толщина стебля, высота растения, наличие плодов, является сложной задачей. Для измерения данных параметров было разработано множество различных механических контактных датчиков, преимуществами которых была высокая точность [1]. Однако подобные датчики контактного типа непосредственно влияют на рост и развитие растения, вследствие чего результаты измерения становятся не достоверными. Кроме того, практическая работа с такими датчиками предполагает постоянную корректировку их размещения на объекте измерения, которая может быть реализована только с участием человека.

В исследовательских целях разработаны особые сложные алгоритмы и элементы искусственного интеллекта (ИИ), способные создать 3D-модель исследуемого растения, путём фотографирования его со всех сторон и обработки полученных изображений с помощью компьютерного зрения и искусственного интеллекта [2]. Недостатком систем с использованием искусственного интеллекта является то, что искусственный интеллект работает достаточно медленно и не может обрабатывать фотографии с высокой скоростью. Из-за того, что свёрточная нейросеть, которая отвечает за распознавание изображения содержит большое количество нейронов на входном слое, для её работы необходимо большое количество оперативной памяти компьютера. Также нейронная сеть работает последовательно, что означает что данные передаются в ней в одном направлении от нейронов в входном слое к нейронам выходного слоя. Из-за данного режима работы невозможно параллельно рассчитывать несколько разных слоёв нейросети, что существенно замедляет её работу.

Оценивать скорость работы стандартной свёрточной нейронной сети, предназначенной для поиска растения на фотографии можно по следующим параметрам:

- размеру изображения,
- характеристикам процессора.

Допустим, для создания 3D-моделей растения необходимо с помощью компьютерного зрения обнаружить растение на 36 фотографиях с качеством 1080p (или 1920 на 1080), каждая из фотографий при этом отображает растение под углом 10 градусов относительно других фотографий. Зная эти параметры, становится возможным рассчитать количество тактов (действий, необходимых совершить компьютеру для выделения растения на фотографии). Рассмотрим простейшую нейронную сеть, состоящую из 3 свёрточных слоёв, между которыми расположены *Subsampling*, или *Pooling*-слои, которые уменьшают размер изображения в 2 раза. При прохождении ядра 3 x 3 по изображению происходит расчёт значений параметров *RGB* изображения по каждому спектру. Так как разрешение изображения 1920 на 1080 пикселей общее количество тактов можно рассчитать по формуле:

$$T_1 = x \cdot y \cdot S_{\text{ядра}} \cdot n_{\text{спектра}} \cdot n_{\text{ядер}} = 1920 \cdot 1080 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 1 = 55,99 \cdot 10^6,$$

где x, y – размер изображения по осям x и y , $S_{\text{ядра}}$ – площадь ядра, $n_{\text{спектра}}$ – количество элементов спектрального состава, $n_{\text{ядер}}$ – количество ядер.

В данном случае используется ядро 3 на 3, $S_{\text{ядра}} = 9$, 3 элемента RGB. После каждого свёрточного слоя количество ядер увеличивается.

Количество тактов на 2 и 3 свёрточном слое нейронной сети рассчитывается следующим образом:

$$T_2 = x \cdot y \cdot S_{\text{ядра}} \cdot n_{\text{спектра}} \cdot n_{\text{ядер}} = 960 \cdot 540 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 10 = 139,97 \cdot 10^6;$$

$$T_3 = x \cdot y \cdot S_{\text{ядра}} \cdot n_{\text{спектра}} \cdot n_{\text{ядер}} = 480 \cdot 270 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 100 = 349,92 \cdot 10^6.$$

Таким образом, общее количество тактов для расчёта одной фотографии растения рассчитывается как $T_1 + T_2 + T_3$ и равно $545,88 \cdot 10^6$. С учётом того, что всего 36 фотографий общая сумма тактов будет равна $19,65 \cdot 10^9$. Процессор в компьютере в зависимости от частоты и количества ядер может обрабатывать определённое количество тактов в минуту. Тактовая частота компьютера определяет количество операций, которые может совершить компьютер за 1 секунду. Средние компьютеры имеют тактовую частоту 3 ГГц. Это означает что компьютер может обрабатывать 3 миллиарда тактов в секунду. Но 1 такт компьютера — это одно действие, а в данном случае за 1 такт берётся 1 нейрон (структурная единица нейронной сети). Для расчёта одного такта компьютера необходимо один такт нейрона умножить на количество простейших логических операций, необходимых для расчёта нейрона.

Расчет нейрона свёрточной нейросети включает в себя следующие операции:

- взятие интенсивности значения цвета с изображения;
- взятие коэффициента ядра;
- сложение интенсивности значений цвета ядра и изображения;
- добавление параметра смещения;
- переход через функцию активации нейрона;
- запись полученной переменной;

Каждый процессор по-своему уникален. В зависимости от типа процессора, количества ядер в нём выполнение определённых операций в нём осуществляется за определённое количество тактов. Также количество тактов зависит и от типа переменных, над которыми проводится операция. Переменные в нейронной сети имеют тип double, что означает что диапазон этих переменных может изменяться от $1,7 \cdot 10^{-308}$ и до $1,7 \cdot 10^{308}$ при этом информация занимает 8 байт памяти компьютера. Простейшие операции, такие как сложение и вычитание для переменных типа double обычно занимает 3 такта. Использование более сложных операций занимает большее количество тактов. Таким образом, операция деления или извлечения квадратного корня для переменной float, чей диапазон изменяется от $3,4 \cdot 10^{-38}$ и до $3,4 \cdot 10^{38}$, происходит за 14 тактов [3]. Исходя из того, что каждый процессор работает на определённой частоте и имея несколько ядер может работать в многопоточном режиме и совмещать несколько тактов в один, расчёт проводится относительно указанных 6 операций, но времени для расчёта нейронной сети в реальных условиях может потребоваться в десятки раз больше. С учётом представленных 6 операций примерное число тактов, выполняемых процессором компьютера для расчёта нейронной сети не менее $19,65 \cdot 10^9 \cdot 6 = 117,91 \cdot 10^9$. Таким образом, для расчёта данной нейросети компьютером с частотой процессора 3 ГГц понадобится не менее $\frac{117,91 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^9} = 39,30$ с, что занимает достаточно большое количество времени. При этом данная нейросеть не выводит никакой конечной информации, а лишь выделяет область на фотографии, где возможно располагается растение для дальнейшей обработки. При данном подходе к обнаружению растения становится проблематично исследование растения в реальном времени. При резком изменении определённых параметров таких как освещение из-за медленной работы искусственного интеллекта растение может получить ожог и впоследствии погибнуть. Требуется увеличить скорость работы нейронной сети или разработать новый способ определения растения. Процесс обнаружения растения на фотографии можно значительно ускорить. Известен способ быстро определять объект, зная его параметры и используя каскад Хаара и определённых преобразований функций Хаара [4].

Хаар-признаки, разработанные Полом Виолой в 2001 г., представляют собой эффективный способ определения положения лица на изображении. Они достигают этого путем размещения прямоугольников разных цветов на лице. Эти признаки основываются на анализе яркости внутри прямоугольников и сравнении их между собой, что позволяет определить переходы от светлого к темному или наоборот на лице. Хаар-признаки могут быть разных типов в зависимости от количества и расположения прямоугольных областей. Например, существуют 2-прямоугольные, 3-прямоугольные и 4-прямоугольные признаки, состоящие соответственно из двух, трех или четырех областей. Важно отметить, что помимо прямоугольных признаков, существуют также наклонные признаки Хаара, которые имеют угол наклона 45 градусов. Это позволяет расширить пространство признаков и повысить точность распознавания. Преимущества этих признаков включают высокую скорость вычислений, низкую чувствительность к изменениям освещения и способность обнаруживать объекты разных размеров [5]. В настоящее время для быстрого обнаружения объектов на фотографиях широко используется метод Виолы-Джонса, который опирается на применение прямоугольных признаков Хаара, представленных на рис. 1. Этот метод позволяет обнаруживать объекты в режиме реального времени, что является его важным преимуществом [6]. Таким образом, Хаар-признаки являются эффективным инструментом для определения положения лица на изображении и обнаружения объектов в режиме реального времени. Их применение также находит широкое применение в других различных областях, где требуется быстрое и точное распознавание объектов.

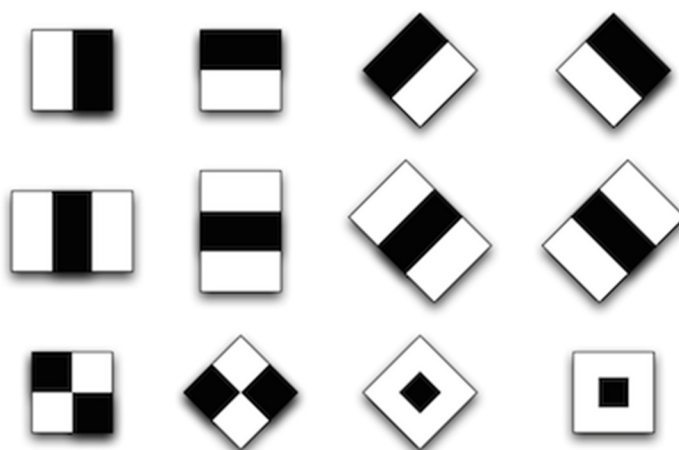


Рис. 1. Прimitives Хаара

Использование примитивов Хаара для поиска и измерения параметров растения на изображении позволяет значительно ускорить его поиск и обеспечивает возможность удалённого исследования параметров растения в режиме реального времени в условиях помещений закрытого грунта, где колебания листьев растений под действием воздушного потока незначительно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU464935A1_19750325
2. URL: <https://phenospex.com/>
3. URL: <http://microsin.net/programming/arm/stm32-floating-point-unit.html> (AN4044 Floating point unit demonstration on STM32 microcontrollers site:st.com.)
4. URL: <https://habr.com/ru/articles/198338/>
5. URL: <https://habr.com/ru/articles/745512/>
6. URL: https://edu.mmcs.sfedu.ru/pluginfile.php/26507/mod_resource/content/4/Распознавание%20лиц.pdf

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖУРНАЛА СОБЫТИЙ

Константин Владимирович Печаткин¹, Сергей Владимирович Шибанов²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

В современном информационном мире журналы событий стали неотъемлемой частью мониторинга и управления различными системами. Они представляют собой хронологическую запись событий и действий, происходящих в информационной системе или организации. Журналы событий играют ключевую роль в обеспечении безопасности, отслеживании деятельности пользователей, а также в диагностике и решении проблем.

С ростом объемов данных, создаваемых журналами событий, возникает необходимость в эффективных методах и инструментах для их обработки, анализа и интерпретации. В этом контексте машинное обучение становится мощным инструментом, способным автоматизировать процессы обнаружения аномалий, прогнозирования событий и классификации данных в журналах событий.

Журналы событий представляют собой специальные файлы или записи, предназначенные для фиксации различных событий и действий, происходящих в информационных системах, сетях или организациях. Они служат ценным источником данных для анализа и мониторинга.

В табл. 1 приведен примерный вид журнала событий.

Таблица 1

Фрагмент журнала событий

Case id	Activity	Timestamp	Resource
1201	Создание заказа	10.12.2022 10:01:02 AM	Измайлов Никифор Игоревич
1202	Завершение заказа	11.12.2022 11:05:01 AM	Измайлов Никифор Игоревич

Важной ролью машинного обучения в обработке журналов событий является автоматическое обнаружение аномалий. Это позволяет выявлять нештатные события или поведение, которое может указывать на потенциальные угрозы или проблемы. Методы машинного обучения, такие как алгоритмы кластеризации, классификации и обучения без учителя, могут быть использованы для создания моделей, способных анализировать журналы событий и выявлять аномалии, которые могли бы остаться незамеченными при ручной обработке.

Еще одной важной ролью машинного обучения в обработке журналов событий является фильтрация событий. Путем анализа данных и паттернов модели машинного обучения могут определять, какие события следует определять или исключать в будущем на основе их важности или значимости.

Фильтрация журнала событий может включать в себя следующие задачи:

- определение важных событий: модели могут автоматически выделять и сообщать о событиях, требующих немедленного внимания;
- фильтрация шума: исключение из анализа событий, не имеющих высокой важности.

Выбор подходящих алгоритмов машинного обучения зависит от конкретной задачи и характера данных.

В случае фильтрации журналов событий могут использоваться следующие типы алгоритмов:

- ансамблевый фильтр (EF от англ. ensemble filter);
- фильтр с перекрестной проверкой комитетов (CVCF от англ. cross-validated committees filter);
- фильтр с итеративным разделением (IPF от англ. iterative-partitioning filter).

Ансамблевый фильтр (EF) [1] один из наиболее известных фильтров для улучшения качества данных. Он разделяет набор данных на несколько подмножеств и для каждого из них создает классификатор. Идентификация шума выполняется путем применения обученных классификаторов на журнал событий.

Фильтр с перекрестной проверкой комитетов (CVCF) [2] использует ансамблевые методы для предварительной обработки журнала событий с целью выявления и удаления шумов в наборе данных. Для выявления шумов данный алгоритм лучше всего использовать совместно с деревьями решений.

Фильтр с итеративным разделением (IPF) [3] представляет собой метод предварительной обработки, основанный на разделяющем фильтре [4]. Он применяется для выявления и удаления объектов с шумами в больших наборах данных. Большинство фильтров предполагают, что наборы данных относительно небольшие и могут быть изучены после одной итерации, но это не всегда так, и может потребоваться процедура разделения.

IPF удаляет шумные экземпляры в нескольких итерациях до достижения критерия остановки. Итеративный процесс останавливается, если в течение нескольких последовательных итераций количество выявленных экземпляров с шумами в каждой из этих итераций меньше, чем процент p от размера исходного обучающего набора данных.

Для тестирования алгоритмов использовалось оборудование со следующей конфигурацией: процессор Intel Core i7 10700, оперативная память 16 Гб, ОС Windows 10. Обучение и проверка производилась с использованием двух наборов данных (обучающего и тестового журналов событий), включающих в себя 10000 записей.

Тестирование производилось с использованием следующих метрик:

- точность (P_{train});
- точность (P_{test});
- полнота (Re);
- гармоническое среднее (F1-метрика).

Точность [4] (Pr) представляет собой метрику, определяющую долю корректно предсказанных классов от числа всех положительных классов.

Метрика P_{test} определяется при применении фильтра к тестовым данным, которые не были использованы при обучении, а метрика P_{train} – к обучающим.

Полнота [4] (Re) представляет собой метрику, определяющую долю корректных классов от числа всех реальных классов.

F1-метрика [4] представляет собой баланс между минимизацией ложных срабатываний и максимизацией обнаружения реальных положительных классов. Чем выше значение F1-метрики, тем лучше качество классификации.

Результаты тестирования алгоритмов фильтрации приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты тестирования алгоритмов фильтрации

Алгоритм фильтрации	Точность (P_{train})	Точность (P_{test})	Полнота (Re)	F1
EF	0.9931	0.8021	0.9269	0.86
CVCF	0.9952	0.8241	0.9685	0.89
IPF	0.9961	0.8568	0.9702	0.91

В результате сравнения можно сказать, что наилучшие результаты показал алгоритм фильтрации с итеративным разделением, поскольку показывает наиболее высокую точность (P_{test}) и высокую F1-метрику в сравнении с алгоритмами ансамблевой фильтрации и перекрестной проверки комитетов.

Это связано с тем, что на каждой итерации данный алгоритм может уточнять параметры фильтрации, что приводит к повышению точности. Однако следует отметить, что наибольшую эффективность алгоритм имеет на наборе с большим объемом данных. В случае с набором данных, включающем в себя 5000 записей и меньше, результаты работы алгоритмов могут быть примерно одинаковыми. Кроме того, для работы алгоритма фильтрации с итеративным разделением требуется гораздо больше вычислительных ресурсов, поскольку он просматривает журнал событий множество раз, в отличие других двух алгоритмов, которым для определения параметров фильтрации требуется просмотреть его только один раз. Алгоритм с перекрестной проверкой комитетов показывает более лучший результат, чем алгоритм ансамблевой фильтрации, поскольку он использует деревья решений, что повышает адаптивность к изменениям в журнале событий и скорость обучения фильтра.

Следовательно, можно сказать, что для фильтрации журнала событий можно использовать комбинированный метод. Если количество записей в журнале минимальное количество, то оправданно применение алгоритма с перекрестной проверкой комитетов. В случае большого количества записей в журнале следует использовать метод с итеративным разделением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brodley C. E., Friedl M. A. Identifying mislabeled training data // J. Artif. Intell. Res. 1999. Vol. 11. P. 131–167.
2. Verbaeten S., Assche A. V. Ensemble methods for noise elimination in classification problems // Fourth International Workshop on Multiple Classifier Systems. Heidelberg : Springer, 2003. P. 317–325.
3. Khoshgoftaar T. M., Rebours P. Improving software quality prediction by noise filtering techniques // J. Comput. Sci. Technol. 2007. Vol. 22. P. 387–396.
4. Zhu X., Wu X., Chen Q. Eliminating class noise in large datasets // Proceeding of the Twentieth International Conference on Machine Learning. 2003. P. 920–927.
5. García S., Luengo J., Herrera F. Data Preprocessing in Data Mining. Intelligent Systems Reference Library. Vol. 72. URL: <http://www.springer.com/series/8578>
6. Оценка качества в задачах классификации и регрессии. URL: https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Оценка_качества_в_задачах_классификации_и_регрессии (дата обращения: 29.09.2023).

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА СТРУКТУРУ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕДЬЮ

Надежда Дмитриевна Якушова¹, Андрей Андреевич Карманов²,
Игорь Александрович Пронин³

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

В настоящее время материалы на основе оксида цинка получили широкое распространение для различных практических применений: сенсорики [1], фотокатализ [2], электроника [3] и т.д. Одной из важных задач является разработка методик синтеза, позволяющих получать материалы с заданным составом и структурой.

Для исследования влияния условий синтеза на структуру получаемых материалов была разработана методика низкотемпературного синтеза порошков оксида цинка, модифицированных медью, с использованием разных комплексообразующих соединений.

В смесь 20 мл 0,05 М $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 20 мл 0,05 М ацетата цинка и комплексообразующего соединения при постоянном перемешивании с помощью магнитной мешалки был добавлен 20 мл 0,1 М раствора глюкозы и 40 мл 0,1 раствора NaOH . Для исследования влияния разного типа комплексообразующих соединений на структуру получаемых материалов были подготовлены два раствора с использованием 2,5 мл 10 % водного раствора аммиака в первом случае (образцы серии 1) и 1 мл этаноламина (образцы серии 2). Затем оба полученных раствора подвергались термообработке в плотно закупоренной колбе при температуре 90 °С в течение 2 ч. Порошки были отфильтрованы из раствора, промыты дистиллированной водой и высушены 1 час при температуре 90 °С [4].

Полученные материалы были исследованы методом растровой электронной микроскопии (РЭМ), результаты представлены на рис. 1.

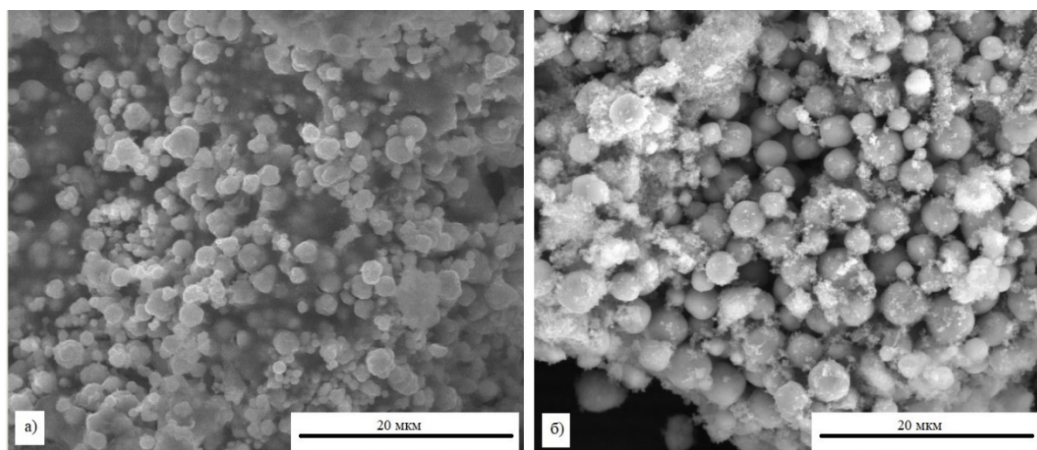


Рис. 1. РЭМ-изображения поверхности материала:
а – серия 1; б – серия 2

Как видно из изображений, материал, полученный при использовании аммиака в качестве комплексообразующего соединения, представлен сферическими агрегатами, объединенными в группы. При этом наблюдается заметная дисперсия по размерам:

от 0,3 мкм до 1 мкм. При использовании этаноламина (рис. 1,б) наблюдается изменение в структуре: формируются отдельные частицы диаметром более 2 мкм. Также присутствует большое количество мелких частиц неопределенной формы, распределенных по всему объему материала.

Полученные материалы также были исследованы методом энергодисперсионного анализа, который показал, что в образцах, синтезированных с использованием этаноламина в качестве комплексообразующего соединения, наблюдается большее содержание меди (порядка 40 ат. %), чем при синтезе с использованием аммиака (порядка 12 ат. %).

Таким образом, путем использования различных комплексообразующих соединений на начальных этапах синтеза возможно управлять структурой и составом материала на основе оксида цинка, модифицированного медью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пронин И. А., Якушова Н. Д., Димитров Д. Ц. [и др.]. Новый тип газовых сенсоров на основе термовольтаического эффекта в оксиде цинка, неоднородно легированном примесями переменной валентности // Письма в Журнал технической физики. 2017. Т. 43, № 18. С. 11–16. doi: 10.21883/PJTF.2017.18.45028.16754

2. Рябко А. А. Система «наностержни оксида цинка и коллоидные квантовые точки» для солнечной энергетики // Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. 2019. №. 4 (116). С. 40–43. doi: 10.34680/2076-8052.2019.4(116)

3. Sharma D. K. [et al.]. A review on ZnO: Fundamental properties and applications // Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 49. P. 3028–3035. doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.238

4. Якушова Н. Д. Физико-технологические особенности формирования полупроводниковых наноматериалов на основе оксида цинка для фотокаталитических приложений : дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2023.

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИИ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Даниил Денисович Горешник

Средняя общеобразовательная школа № 36, г. Пенза, Россия

Для улучшения сгорания топлива в дизельных двигателях используются способы интенсификации впрыска топлива, такие как насосы-форсунки и аккумуляторные системы подачи топлива. Для контроля параметров впрыска применяются электромагнитные и пьезоэлектрические форсунки. Использование пьезосборок в конструкции форсунок приводит к улучшению характеристик двигателей путем повышения блокирующей силы, которая управляет клапаном, а также увеличивает скорость и точность движения иглы клапана. Это приводит к снижению расхода топлива на 15% и более. Например, пьезосборки форсунок обеспечивают быстрое действие клапанов от 1 до 10 мс при максимальном перемещении от 3 до 5 мкм и силе до 5 кН. Поэтому разработка новых конструкций пьезофорсунок является актуальной задачей [1-4].

Конструкция пьезоэлектрической форсунки показана на рис. 1, на рисунке введены следующие обозначения: 1 – разъем; 2 – пьезоборка; 3 – электрод; 4 – рычаг; 5 – шток с запорным конусом; 6 – сливное отверстие; 7 – поршень управления; 8 – корпус форсунки; 9 – пружина; 10 – игла распылителя; 11 – сопловые отверстия; 12 – подводящий канал к распылителю; 13 – канал (жиклер) подвода топлива в камеру управления; 14 – аккумулятор; 15 – камера управления; 16 – пружина [3].

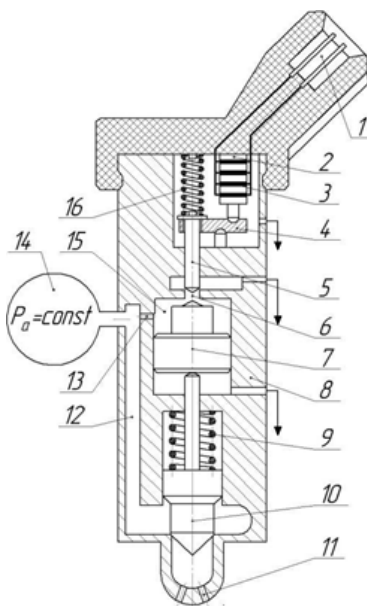


Рис. 1. Устройство пьезофорсунки

Принцип работы форсунки с управлением на основе пьезоэлектричества аналогичен принципу работы форсунки с электрогидравлическим управлением, за исключением использования пьезоэлектрических элементов 2 вместо электромагнита. Пьезоэлементы 2 разделены электродами 3. С помощью рычага 4 перемещение пьезо-сборки передается на шток 5, на который установлен запорный конус (клапан управления). Открывается сливное отверстие 6, что приводит к снижению давления в камере управления 15. Под действием высокого давления в аккумуляторе 14, игла 10 перемещается вверх, открывая сопловые отверстия 11. Это позволяет начать процесс подачи топлива. Конструкция и расположение клапана управления могут варьироваться, однако его основная функция состоит в изменении давления в камере управления [2]. Форсунка управляется сериями электрических импульсов, имеющих постоянное напряжение и продолжительность от 1 мс и дольше, с амплитудой от 60 до 200 В.

Одной из важных задач в процессе производства пьезоэлементов для датчиков-преобразующей аппаратуры является установление взаимосвязи между электрофизическими характеристиками материалов ЦТС, которые определяют технические параметры изделий. Для проведения исследования о применимости материала НФИ-50 в пьезосборке был выполнен расчет с использованием следующих исходных данных: материал пьезоэлементов: НФИ-50; габариты пьезоэлемента: 8×8 мм; толщина пьезоэлемента h_3 : 0,2 мм; пьезомодуль пьезоматериала d_{33} : 315 пКл/Н; управляющее электрическое напряжение: 100 В; плотность пьезоматериала ρ : $7,6 \cdot 10^3$ кг/м³; модель Юнга Y : $7,7 \cdot 10^{10}$ Н/м²; пьезомодуль по напряжению g_{33} : $25,4 \cdot 10^{-3}$ В·м/Н [2, 5].

Согласно способу, приведенному в [2]:

1) площадь пьезоэлемента: $S_n = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 6,4 \cdot 10^{-5}$ м²;

2) коэффициент упругости (жесткости):

$$K = \frac{S_n \cdot Y}{h} = \frac{6,4 \cdot 10^{-5} \cdot 7,7 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 10^{-4}} = 2,464 \cdot 10^{10} \text{ Н/м};$$

3) напряженность электрического поля пьезоэлемента в осевом направлении:

$$E_3 = \frac{U}{h_3} = \frac{100}{2 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^5 \text{ В/м}.$$

4) сила, которую развивает один пьезоэлемент при подаче электрического напряжения постоянного тока $U = 100$ В равна:

$$F = \frac{S_{\Pi} \cdot U}{g_{33} \cdot h_3} = \frac{6,4 \cdot 10^{-5} \cdot 100}{25,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 1260 \text{ Н};$$

5) увеличение толщины у одного пьезоэлемента в магнитном поле, которое создается электрическим напряжением постоянного тока 100 В равно:

$$\Delta h_3 = \frac{F}{K} = \frac{1260}{2,464 \cdot 10^{10}} = 5,11 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 5,11 \cdot 10^{-2} \text{ мкм}.$$

Увеличение толщины одного пьезоэлемента на 0,0511 мкм приведет к общему удлинению пьезосборки в 5,11 мкм при условии, что толщина одной пластины составляет 0,2 мм, а толщина клеевого слоя - 0,1 мм. В пьезосборке будет находиться 100 пластин. Для обеспечения эффективной работы дизельного форсунка необходимо, чтобы ход клапана был не менее 100 мкм, в то время как для бензиновой форсунки достаточно рабочего хода около 10 мкм. Чтобы увеличить ход клапана в два раза, можно использовать рычажный механизм с требуемым передаточным числом. Дополнительное увеличение хода клапана возможно путем увеличения количества пьезоэлементов в пьезосборке и увеличения управляющего электрического напряжения до 200 В.

С использованием следующего выражения также можно вычислить приращение толщины пьезоэлемента, который имеет исходную толщину 0,2 мм, при подаче управляющего напряжения 100 В [2]:

$$\Delta h_3 = d_{33} \cdot E_3 \cdot h_3 = 315 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 3,15 \cdot 10^{-8} \text{ м}.$$

При использовании второго метода расчета, ожидаемое приращение толщины одного пьезоэлемента составляет 0,0315 мкм. Следовательно, приращение толщины пьезосборки из 100 пьезоэлементов составит около 3,15 мкм. Для достижения требуемого перемещения клапана от 10 до 100 мкм, в зависимости от используемого топлива, необходимо увеличить количество пьезоэлементов в пьезосборке, увеличить управляющее электрическое напряжение до 200 В и использовать рычажный передаточный механизм с требуемым передаточным коэффициентом [5].

Также было проанализировано устройство созданной пьезосборки и результаты испытаний макетов. Для изготовления пьезосборок использовалась технология полусухого холодного одноосного прессования. Пьезопластины изготовлены из материала НФИ-50 (с пьезомодулем d_{33} не менее 400 пК/Н и относительной диэлектрической проницаемостью не менее 1500). Всего было изготовлено 1100 штук заготовок-пьезопластин, которые представлены на рисунке 35. Устройство макета пьезосборки показано на рис. 3 [5]. На рис. 2 приведен внешний вид изготовленного макета пьезосборки.

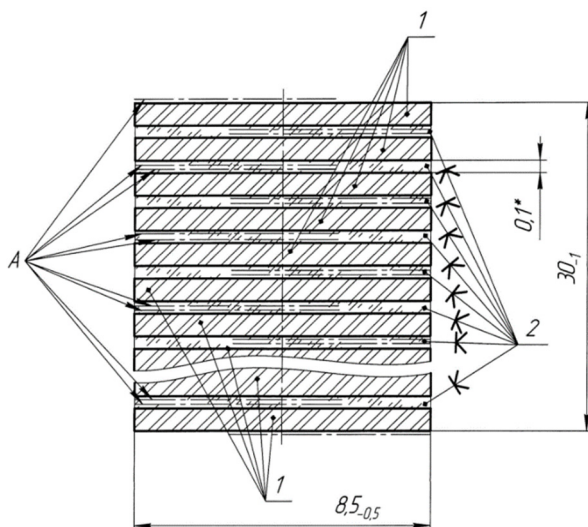


Рис. 2. Устройство макета пьезосборки

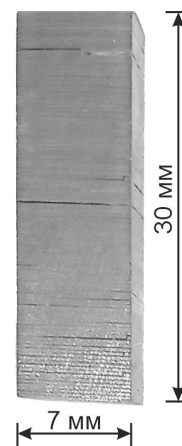


Рис. 3. Внешний вид макета пьезосборки

На рис. 2 введены следующие обозначения: 1 – пьезопластины; А –электроизоляционный клей ВС-350.

Анализ результатов расчетов и натурных испытаний показал, что пьезоэлемент толщиной 0,2 мм при подаче управляющего электрического напряжения 100 В изменяет свою толщину на 0,03–0,05 мкм. Расчетное значение приращения толщины одного пьезоэлемента при подаче управляющего электрического напряжения равного 200 В составляет не менее $1,02 \cdot 10^{-7}$ м или 0,1 мкм, то есть приращение толщины пьезосборки из 200 пьезоэлементов составит не менее 0,02 мм, что вполне достаточно для начала работ по внедрению технологического процесса пьезосборок в производство и дальнейшей отработки технологии изготовления пьезосборок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов П. Г., Бабиченко А. В., Петрунин Г. В. Сенсорные элементы роботов и робототехнических систем : метод. указания к курсовому и дипломному проектированию. Пенза : Изд-во ПГУ, 1998. 75 с.
2. Макушев Ю. П., Жигadlo А. П., Волкова Л. Ю. Системы подачи топлива и воздуха дизелей : учеб. пособие / под ред. Н. И. Косенкова. Омск : СибАДИ, 2017. 215 с.
3. Богуш М. В. Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации. Пьезоэлектрическое приборостроение. Ростов н/Д. : СКНЦ ВШ, 2006. 346 с.
4. Бастрыгин К. И., Кикот В. В. К вопросу о коррекции температурной погрешности в пьезоэлектрических датчиках давления // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2014. № 2 (8). С. 25–30.
5. Кикот В. В. Система управления питанием энергетических установок с использованием пьезофорсунок : магистерская работа. Пенза, 2023. 86 с.

МЕТОДЫ РАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НОВОГО МНОГОСЛОЙНОГО КОРРОЗИОННО-СТОЙКОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ 12Х18Н10Т-М1

**Александр Владимирович Хорин¹, Максим Сергеевич Гуськов²,
Дмитрий Анатольевич Веревкин³, Полина Ильинична Захарова⁴**

^{1,2,3,4}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Современный мир характеризуется повышенными требованиями к качеству и надежности конструкций. В связи с этим более актуальной становится проблематика их контроля.

Основной задачей любой системы контроля является выявление недостатков и определение пределов надежности и прочности. Дефекты могут возникать из-за человеческих факторов, в частности, из-за ошибки в конструировании, производстве и эксплуатации. Существуют различные виды дефектов: дефекты литья, усталостное разрушение, атмосферная коррозия, изнашивание сопряженных деталей, дефекты при нанесении покрытий, дефекты неразъемных соединений металла и так далее.

Для каждого случая используют специальные методы, которые позволят определить степень воздействия дефекта на качество изделия: изменение надежности, рабочих характеристик, сроков и условий эксплуатации, категорию дефекта и допуск изделия к использованию [1]. Выделяют два основных вида контроля: разрушающий и неразрушающий.

Неразрушающий контроль (НК) предназначен для выявления дефектов металла без нарушения целостности изделия, а также для получения сведений о структуре и физико-химических свойствах материала.

Наиболее распространенными видами НК являются ультразвуковой, рентгеновский, радиографический, магнитный, люминесцентный и другие [2]. Однако их применение для оценки качества многослойных металлических материалов, у которых одним из наиболее распространенных и высокоэффективных способов получения является сварка взрывом [3], не всегда является эффективным.

Разрушающий вид контроля предназначен для количественного определения максимальной нагрузки на предмет, после которой наступает разрушение. При разрушающем виде используются два вида нагрузок: статические, которые позволяют точно измерить силу воздействия на образец и подробно описать процесс деформации, и динамические, которые служат для определения вязкости или хрупкости материала [4].

Для исследования композиционного металлического коррозионно-стойкого материала системы 12X18H10T-M1, полученного сваркой взрывом, использовались статические испытания.

Исследование механических свойств экспериментальных образцов металлического коррозионно-стойкого материала системы 12X18H10T-M1 после сварки взрывом проводили испытанием на одноосное растяжение при нормальной температуре на разрывной машине универсального назначения, модель ИР 5145-500.

Испытания на одноосное растяжение является наиболее распространенным видом испытаний для оценки механических свойств.

Испытания проводились при комнатной температуре согласно ГОСТ 1497–84 (ИСО 6892–84, СТ СЭВ 471–88).

Испытания проводились на четырех образцах: два образца вдоль детонационной волны, два – поперек.

Механические свойства композиционного материала системы 12X18H10T-M1, полученные в результате испытания, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Механические свойства после проведения испытания

Параметры	Образец	Временное сопротивление разрыву, σ_b , МПа	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение при разрыве, δ_s , %	Сужение сечения, Ψ , %
Значения	1 р.в.	667,4	628,4	16,9	41,1
	2 р.в.	645,8	608,1	13,8	38,4
	1 р.п.	664,8	616,8	4,6	36,7
	2 р.п.	700,5	662,7	3,1	39,7

Механическими испытаниями было установлено, что величина [5] прочности для образца композиционного материала системы 12X18H10T-M1 находится в диапазоне от 645,8 до 700,5 МПа, относительное удлинение от 3,1 до 16,9 %.

Исследование технологических свойств проводились испытанием на статический изгиб при нормальной температуре на разрывной машине универсального назначения ИР 5145-500.

Испытания на изгиб проводят на испытательных машинах или прессах:

- до заданного угла изгиба;
- до появления первой трещины в растянутой зоне образца с определением угла изгиба;
- до параллельности сторон образца;
- до соприкосновения противоположных сторон образца (сплющивания).

В соответствии с требованиями ГОСТ 14019–2003 [6] проводили испытание трехслойного материала на статический изгиб [7].

При проведении испытания использовалось четыре образца: два образца, которые вырезаны вдоль детонационной волны, два – поперек.

Параметры образцов после проведения испытания представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры образцов после проведения испытания

Параметры	Образец	Скорость испытания, мм/мин	Минимальный угол изгиба при толщине не более 20 мм (ГОСТ 34347- 2017), °	Статический изгиб до достижения заданного угла, °	До па- раллель- ности сторон, °	До сопри- коснове- ния сто- рон, °
Значение	1 и.в.	10,0	100,0	130,0	+	+
	2 и.в.	15,0		130,0	+	+
	1 и.п.			126,0	+	+
	2 и.п.			119,0	145,0	—

Все образцы выдержали испытание на изгиб до достижения заданного угла. Трещин, видимых невооруженным взглядом, не обнаружено.

При испытании на изгиб до параллельности сторон на образце 2 и.п. произошло образование трещины.

Испытания на изгиб до соприкосновения сторон выдержали все образцы.

Таким образом, в ходе проведения механических испытаний получены следующие результаты: прочность образцов вдоль детонационной волны: от 645,8 до 667,4 МПа, поперек – от 664, 8 до 700,5 МПа; относительное удлинение вдоль волны от 13,8 до 16,9 %, поперек – от 3,1 до 4,6 %; сужение сечения вдоль волны от 38,4 % до 41,1 %, поперек от 36,7 до 39,8 %, предел текучести вдоль волны от 608,1 до 628,4 МПа, поперек – от 616,8 до 662,7 МПа. Испытание на статический изгиб прошли все образцы.

В заключение можно сказать, что повышенные требования к качеству и надежности конструкций в современном мире являются неотъемлемой частью нашего развивающегося общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваль Ю. А., Айтпаева А. Е., Ыксан Ж. М. Анализ современных методов контроля качества продукции // Наука и техника Казахстана. 2012. № 1-2. С. 88–94.
2. Хорин А. В., Куликов К. Д., Захарова П. И. Возможность использования ультразвукового контроля для исследования новых композиционных материалов // Методы, средства и технологии получения обработки измерительной информации. Пенза, 2022. С. 279–280.
3. Хорин А. В., Захарова П. И., Куликов К. Д. Перспективный материал для защиты от коррозионного воздействия // Вестник Пензенского государственного университета. 2022. № 4 (40). С. 125–132.
4. Методы контроля качества металлопродукции. URL: https://www.equipnet.ru/articles/power-industry/power-industry_407.html
5. Хорин А. В., Логинов О. Н., Розен А. А., Селиванова Л. А. Эксплуатационные характеристики коррозионно-стойких слоистых металлических материалов с внутренним протектором // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте. М., 2023. С. 435–437.
6. ГОСТ 14019–2003 (ИСО 7438:1985). Материалы металлические. Метод испытания на изгиб. Введ. 2004.09.01. М. : Из-во стандартов, 2003. 11 с.
7. Лось И. С., Розен А. Е., Перелыгин Ю. П., Первухин Л. Б., Усатый С. Г., Хорин А. В. Исследование структуры и свойств многослойного коррозионно-стойкого материала, полученного сваркой взрывом // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. № 5 (65). С. 93–96.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

Дмитрий Анатольевич Веревкин¹, Максим Сергеевич Гуськов²,
Полина Ильинична Захарова³

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Финансирование: работа выполнена в рамках конкурса «Ректорские гранты» Пензенского государственного университета, договор № ХП-269/22 от 01.04.2022.

В настоящее время проблема коррозии является одной из наиболее актуальных в области материаловедения и производства. Многослойные материалы, в которых сочетаются слои различных металлов, могут быть особенно подвержены коррозии. Необходимость осуществления мероприятий по защите от коррозии связано с тем, что потери от коррозии приносят большой ущерб в различных областях [1]. Поэтому, разработка и применение эффективных методов защиты от коррозии многослойных материалов становится предметом повышенного внимания ученых и инженеров.

Научное исследование в этой области направлено на изучение механизмов коррозии многослойных материалов [2] и разработку соответствующих методов защиты.

При разработке методов защиты от коррозии многослойных материалов важно изучить влияние окружающей среды на эффективность методов в связи с их различным применением. На уровень коррозии могут существенно влиять такие факторы, как влага, температура, агрессивные вещества и другие факторы окружающей среды, которые необходимо учитывать перед принятием мер по защите от коррозии.

Одним из ключевых факторов, влияющих на процесс коррозии, является разница в электрохимических потенциалах между различными компонентами многослойного материала. Коррозия происходит, когда металлы с разными потенциалами контактируют друг с другом в присутствии электролита. В таких условиях возникают анодные и катодные реакции, что приводит к разрушению материала.

Электрохимическая защита является способом противокоррозионной защиты металлических материалов [3], основанным на снижении скорости их коррозии путем смещения потенциала до значений, соответствующих крайне низким скоростям растворения. В зависимости от направления смещения потенциала металла электрохимическая защита подразделяется на катодную и анодную.

Катодная защита предусматривает подключение многослойного материала к внешнему источнику тока таким образом, чтобы он становился катодом в анодно-катодной паре. Это позволяет снизить или полностью предотвратить коррозию путем электрохимической реакции. Однако, применение катодной защиты для многослойных материалов также требует дополнительных исследований для определения оптимальных параметров и условий. При катодной защите снижение скорости растворения металла происходит вследствие смещения потенциала в область значений, отрицательнее $E_{кор}$.

При анодной защите потенциал защищаемой конструкции смещают в область, положительнее $E_{кор}$ [4]. При этом происходит переход металла из активного в пассивное состояние.

Одним из подходов к защите многослойных материалов от коррозии является использование внутреннего протектора. Сущность метода заключается в следующем: вместо монометалла или биметалла используют многослойный материал, который имеет не меньше трех слоев. Принципиально новым является расположение протектора между защищаемыми слоями.

В качестве материала первого слоя выбирается тот материал, который имеет достаточно высокую коррозионную стойкость и находится в пассивном состоянии в данной среде. При контакте данного слоя с агрессивной средой, не содержащей окислителей, на нем возникают очаги поражения в виде питтинга, которые с течением времени увеличивают глубину и достигают второго слоя. Материал второго слоя выбирается таким образом, чтобы его коррозионные свойства в данной среде были меньше коррозионных свойств материала внешнего слоя [5]. При достижении питтингом металла второго слоя последний начинает корродировать, тогда как материал внешнего слоя коррозии не подвергается. При этом металл второго становится анодом, а металл первого слоя – катодом. Анод, то есть протектор, постепенно растворяется. Реакция анодного растворения может протекать до образования в протекторе полости значительных размеров – линзы.

Состав третьего слоя аналогичен первому. Когда глубина полости в протекторе оказывается равной его толщине, третий слой также становится катодом, как и первый. Скорость коррозии второго слоя может увеличиться и будет при этом протекать вплоть до полного растворения протектора [5].

Механизм защиты от коррозионного воздействия в новом многослойном материале системы 12X18H10T-M1 основан на полной пассивации процесса питтинговой коррозии [6]. Схема нового материала и механизм защиты представлены на рис. 1.

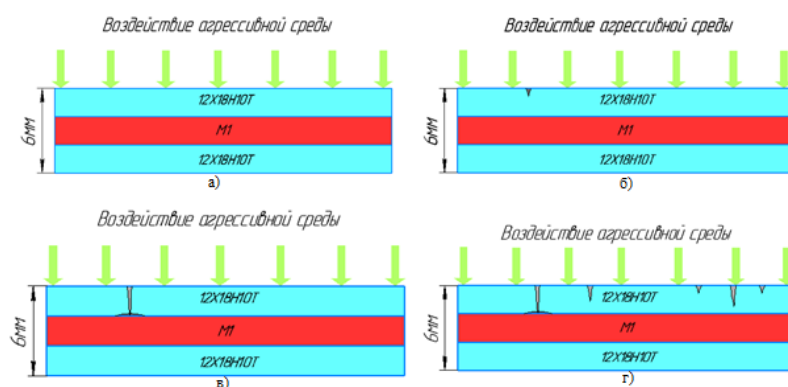


Рис. 1. Схема металлического композиционного материала системы 12X18H10T-M1: а – исходное состояние; б – образование питтинга; в – процесс пассивации питтинга; г – образование новых питтингов

Использование электрохимических методов является перспективным направлением в области контроля коррозии. Применение методов катодной и анодной защиты, использование внутреннего протектора, механизма полной пассивации питтинговой коррозии позволяют эффективно подавлять процессы разрушения металла и значительно удлинять срок его службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Парменова О. Б., Насибуллин А. Р. Поиск методов защиты от коррозии металлов и сплавов // Студенческая наука XXI века. 2015. № 4 (7). С. 250–253.
2. Rozen A. E., Reformatskaya I. I., Kuznetsov E. V. [et al.]. Corrosion Resistance of Multilayer Explociad Metals // Explosive production of new materials: science, technology, business, and innovations. X International Symposium on Explosive Production of New Materials: collection of abstracts. Moscow, 2010. P. 63.
3. Киреев С. Ю., Лось И. С., Перелыгин Ю. П., Розен А. Е. Исследование коррозионно-электрохимических свойств многослойного материала, полученного сваркой взрывом // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 4 (24). С. 104–111.
4. ГОСТ 9.912–89. Единая система защиты от коррозии и старения. Стали и сплавы коррозионностойкие. Методы ускоренных испытаний на стойкость к питтинговой коррозии. Введ. 01–01–91. М. : Изд-во стандартов, 1990. 18 с.

5. Лось И. С., Розен А. Е., Перелыгин Ю. П., Усатый С. Г., Хорин А. В. Новый многослойный коррозионностойкий материал и технология его получения // Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня : материалы 12-й Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2010. С. 465–468.

6. Хорин А. В., Захарова П. И., Куликов К. Д. Перспективный материал для защиты от коррозионного воздействия // Вестник Пензенского государственного университета. 2022. № 4 (40). С. 125–132.

АНАЛИЗ РЫНКА ПРОЗРАЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ОКСИДОВ

Тимур Олегович Зинченко

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Рынок сегментирован по типу материала (оксид индия-олова на стекле, оксид индия-олова на ПЭТ, серебряная нанопроволока, углеродные нанотрубки, проводящие полимеры и другие типы материалов), применению (смартфоны, планшеты, ноутбуки и нетбуки, ЖК- и светодиодные мониторы и телевизоры, носимые устройства, OLED-освещение, солнечная фотоэлектрическая энергетика и другие приложения) и география (Азиатско-Тихоокеанский регион, Северная Америка, Европа, Южная Америка, Ближний Восток и Африка).

Ожидается, что мировой рынок прозрачных проводящих пленок будет расти со среднегодовым темпом роста около 8% в течение прогнозируемого периода. Основными факторами роста изучаемого рынка являются растущий спрос со стороны производителей бытовой электроники и увеличение роста в фотоэлектрической промышленности [1].

С другой стороны, ожидается, что высокая стоимость оксида индия-олова и неблагоприятные условия, возникающие из-за влияния COVID-19 на рынок в целом, будут препятствовать росту изучаемого рынка.

Ожидается, что технологические достижения в производстве прозрачных проводящих пленок откроют перед производителями многочисленные возможности в ближайшем будущем.

Азиатско-Тихоокеанский регион доминировал на мировом рынке, при этом большая часть спроса исходила от таких стран, как Китай, Южная Корея и Япония [2].

Оксид индия-олова представляет собой тройную композицию индия, олова и кислорода в различных пропорциях, и в зависимости от содержания кислорода его можно описать как сплав или керамику. При получении оксида индия-олова в нем используется почти 45 % индия [3].

Он широко используется в качестве прозрачных проводящих оксидов благодаря своей оптической прозрачности, электропроводности и возможности осаждения в виде тонкой пленки [4].

Оксид индия-олова на стекле очень прозрачен и обладает отличной электропроводностью. Он обеспечивает превосходное светопропускание от видимого до ближнего инфракрасного диапазона.

Превосходные свойства оксида индия-олова на стекле, такие как низкая шероховатость, отличная однородность электрического поверхностного сопротивления, отражение для инфракрасных длин волн, отличная адгезия покрытия и стойкость к истиранию, а также высокая однородность оптического пропускания, делают его идеальным для теплопроводящих пленок.

Оксид индия-олова на стекле имеет широкий спектр применений, таких как светодиодные и OLED-дисплеи, приложения для микроstructuring, нагреваемые

предметные стекла и покровные стекла для медицинских технологий, подложки для схем для электроники, оптические и проводящие прозрачные покрытия для сенсорных экранов и сенсорных дисплеев. технологии, токопроводящие покрытия для прозрачных электродов, органические солнечные элементы, инфракрасные зеркала, отражающие инфракрасные фильтры, покрытия для защиты от обледенения окон и аноды для органических светодиодов (OLED).

Тонкие пленки ITO для стеклянных подложек все чаще используются в стеклянных окнах для экономии энергии.

Однако покрытия из оксида индия не рекомендуются для длительного воздействия температур выше 300°F или 150°C в атмосфере кислорода или воздуха, что может привести к нежелательным изменениям удельного сопротивления. ITO считается хрупким, ему не хватает гибкости, а процесс изготовления включает высокие температуры и вакуум, поэтому он относительно медленный и нерентабельный, что, вероятно, снизит спрос на ITO для стеклянных пленок в ближайшие годы.

Более того, индий, являющийся основным материалом пленок ITO, является редким металлом и распределяется неравномерно, в связи с чем возникает риск в плане стабильного предложения, а также вопрос повышения цен.

Несмотря на то, что была проведена значительная работа над тонкими металлическими сетками из нанопроволоки, проводящими полимерами, углеродными нанотрубками и графеном для разработки TCO с более низким сопротивлением листа для более высоких скоростных характеристик, прогнозы по-прежнему предполагают значительный спрос на пленки на основе ITO благодаря его свойствам в ближайшие годы [5–7].

Китай является крупнейшей экономикой мира с точки зрения ППС (паритет покупательной способности). Тем не менее, это вторая по величине экономика, если рассчитывать по номинальному ВВП. Рост страны замедлился в последние несколько лет, и в 2019 году был зафиксирован рост ВВП на 6%, что является самым медленным темпом в экономической истории страны с 1990 года. с напряженностью из-за торговых споров страны с Соединенными Штатами.

Хотя Китай был первой страной, пострадавшей от COVID-19 и связанной с ним блокировки, он стал первой страной, отменившей блокировку. В настоящее время он находится на долгом пути к нормальной жизни. Тем не менее, значительная часть китайской экономики связана с иностранным экспортом, на который наблюдается низкий спрос. Этот фактор может негативно сказаться на китайской промышленности в ближайшее время.

Китай является центром электронной промышленности, особенно различных продуктов, включая смартфоны, ноутбуки, планшеты, телевизоры и т. д. Некоторые из ключевых компаний, производящих смартфоны в стране, включают Huawei, Apple, Samsung, Xiaomi, Vivo, Oppo и Lenovo. , из которых Samsung закрыла производство в 2019 году из-за уменьшения доли рынка и повышения тарифов.

В последнее десятилетие страна занимала непревзойденную долю на мировом рынке производства смартфонов, в первую очередь из-за доступности сырья и низкой стоимости рабочей силы по сравнению с другими странами.

Однако, с другой стороны, в стране наблюдается перенос производства смартфонов в другие азиатские страны, такие как Индия, которая сокращает производство смартфонов в стране. Следовательно, это, вероятно, окажет прямое влияние на изучаемый рынок. Точно так же крупнейшие мировые производители ноутбуков, HP и Dell (доля ~40%), производят большую часть своей продукции в Китае. Следовательно, страна была перспективным рынком для прозрачных проводящих пленок в стране.

Однако аналогичная тенденция на рынке смартфонов наблюдается и на рынке ноутбуков. Сдвиг производства не такой резкий, как у смартфонов, но многие производители ноутбуков планируют перенести свои производственные базы из Китая. HP планирует перевести почти треть своих мощностей из Китая в другие азиатские страны.

Несмотря на вышеупомянутый сценарий, влияние COVID-19, вероятно, окажет сильное влияние на продажи ноутбуков, что повлияет на будущее производство в стране.

С другой стороны, Китай обогнал Южную Корею по производству светодиодных телевизоров в мире в 2019 году. Из 152,16 млн единиц ЖК-телевизоров, проданных по всему миру за первые три квартала предыдущих лет, доля Китая составила почти 32 %. были особенно значительными в третьем квартале.

Некоторые из ведущих производителей телевизоров в стране включают Skyworth, Xiaomi, Hisense, Changhong, TCL, Haier, Cool, Konka, Philips и Samsung, среди которых Xiaomi доминировала на рынке в 2019 году.

Кроме того, энергетический сектор, особенно сектор солнечной энергетики, является ключевым фактором спроса на рынке прозрачных проводящих пленок. В Китае больше солнечной энергии, чем в любой другой стране мира, и здесь находится одна из крупнейших солнечных ферм в мире (в пустыне Тенгер). Ожидается, что страна останется крупнейшим инвестором в возобновляемые источники энергии в обозримом будущем.

Китай также стремится резко увеличить долю солнечной энергии в своем энергетическом балансе, что, как ожидается, создаст огромный спрос на прозрачные проводящие пленки в стране в течение прогнозируемого периода.

Однако COVID-19 снизил спрос на электронику в Китае, и ожидается, что эта тенденция сохранится даже после пандемии в течение прогнозируемого периода. Ожидается, что такие факторы снизят спрос на прозрачные проводящие пленки в этой отрасли.

Мировой рынок прозрачных проводящих пленок фрагментирован, на нем присутствует несколько мировых и региональных производителей. Некоторые из ключевых игроков на рынке включают, среди прочих, NITTO DENKO CORPORATION, OIKE & Co., Ltd., TEIJIN LIMITED, SEKISUI NANO COAT TECHNOLOGY и OFILM GROUP CO., LTD.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермоленко Е. В., Игумнов М. А. Внедрение фотоэлектрических технологий // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. 2020. Ч. 2. С. 105–107.
2. Макарян И. А., Ефимов О. Н., Гусев А. Л. На мировом рынке «умных» электрохромных устройств // Альтернативная энергетика и экология. 2014. № 3. С. 81–93.
3. Зинченко Т. О., Печерская Е. А., Голубков П. Е., Камардин И. Н. Современное состояние синтеза тонкопленочных структур методом спрей-пиролиза // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2022») : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых. Пенза, 2022. С. 263–265.
4. Зинченко Т. О., Печерская Е. А. Прозрачные проводящие оксиды и их применение в устройствах опто-, нано- и микроэлектроники // Проблемы автоматизации и управления в технических системах : сб. науч. ст. по материалам XXXIV Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием : в 2 т. / под ред. М. А. Щербакова. Пенза, 2021. С. 108–111.
5. Зинченко Т. О., Печерская Е. А. Анализ материалов, используемых для производства прозрачных проводящих покрытий // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. / под ред. Л. Р. Фионовой. Пенза, 2018. С. 256–258.
6. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В. [и др.]. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 2 (28). С. 99–107.
7. Зинченко Т. О., Печерская Е. А., Кондрашин В. И. [и др.]. Анализ факторов, влияющих на электрофизические свойства прозрачных проводящих покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 1 (35). С. 64–72.

ОБЗОР МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Тимур Олегович Зинченко¹, Екатерина Анатольевна Печерская²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Финансирование: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 23-29-00343).

Для определения основных требований, предъявляемых к технологиям формирования чувствительных элементов мультисенсорных систем, необходимо рассмотреть несколько вариантов конструкций матриц газовых сенсоров, разработанных на сегодняшний день.

В работе [1] представлена матрица, состоящая из четырех сенсоров. Технологией трафаретной печати формировались нагреватель, электроды и изолирующий слой на каждом сенсоре. Для нанесения четырех нагревателей на подложку из оксида алюминия размером $10 \times 10 \text{ мм}^2$ и изолирующего слоя на их поверхность использовались платиновая паста и паста на основе смеси порошков оксида алюминия, стекла и органического связующего, соответственно. Электроды и контакты были напечатаны на изолирующем слое с помощью серебряной пасты. На рис. 1 показаны различные слои матрицы сенсоров перед осаждением чувствительного слоя.

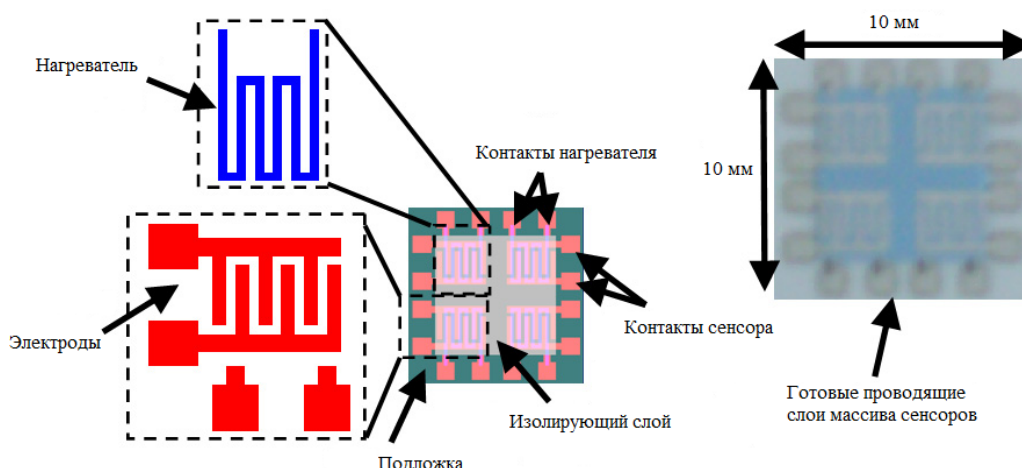


Рис. 1. Схематическое изображение слоев матрицы сенсоров

Для нанесения чувствительного (SnO_2) и каталитического (Pt) слоя использовался метод лазерной абляции. Чувствительные слои формировались при разном времени осаждения: 5 и 10 мин на каждую пару сенсоров. На три сенсора наносилась платина также при разном времени осаждения для того, чтобы получить слой катализатора. После этого пленки в течение одного часа подвергались термическому воздействию (максимальная температура — 450°C) для развития структурных и электрических свойств.

На рис. 2 представлена *SEM* микрофотография матрицы сенсоров (т.е. *микрофотография*, полученная с помощью *сканирующего электронного микроскопа*), которая обладала хорошей чувствительностью к ряду газов (этиловый спирт, метанол, изопропиловый спирт, ацетон) с концентрацией $\sim 10 \text{ ppm}$ и со временем отклика $\sim 1 \text{ с}$.

В работе [2] матрица, схематически изображенная на рис. 3, также состоит из четырех сенсоров, которые формировались на Si/SiO_2 подложке. Слой SiO_2 толщиной

1 мкм необходим для изоляции чувствительных элементов от подложки. Electroдами являются платиновые пленки толщиной 200 нм и с 25 нм адгезионным слоем (Ta).

Конструкция также включает резистивный нагреватель и температурный сенсор. Однородность температуры в этом случае достигается за счет высокой теплопроводности кремниевой подложки (150 Вт/м·К). Чувствительные элементы (пленки СТО ($\text{Cr}_{2-x}\text{Ti}_x\text{O}_{3+z}$), SnO_2 , WO_3 и V_2O_5) наносились с помощью технологий реактивного электронно-лучевого испарения и магнетронного распыления. Площадь всей матрицы составила 9 мм².

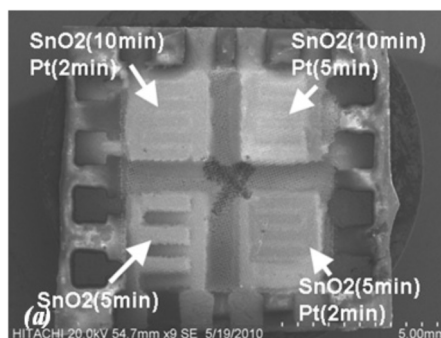


Рис. 2. SEM микрофотография матрицы сенсоров

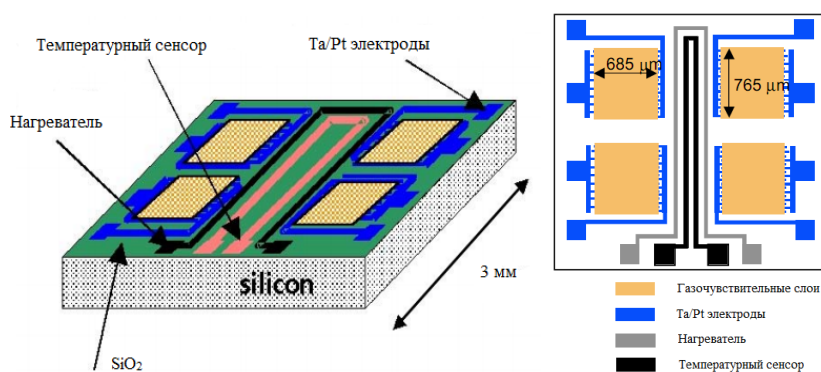


Рис. 3. Схематическое изображение матрицы сенсоров

На рисунке 4 продемонстрирована фотография вмонтированной в корпус матрицы без металлической крышки. Каждый из четырех чувствительных элементов имеет индивидуальный цвет слоя.

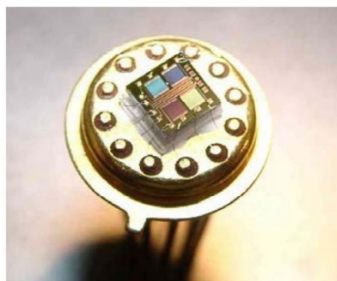


Рис. 4. Фотография вмонтированной в корпус матрицы сенсоров

В работе [3] матрица включает 16 сенсоров, для изготовления которых использовалась система импульсного лазерного осаждения, позволившая сформировать на электродах из золота в отдельных участках подложки (Al_2O_3) чувствительные

элементы толщиной 500 ангстрем. На рис. 5 представлена фотография подобной матрицы. Для получения пленок разного химического состава применялся процесс, при котором слои наносились попеременно. Диоксид олова являлся основным материалом для чувствительных элементов матрицы, а ZnO , WO_3 , In_2O_3 , Pt и Pd выступали в качестве примесей. Площадь всей матрицы составила 1 дюйм².

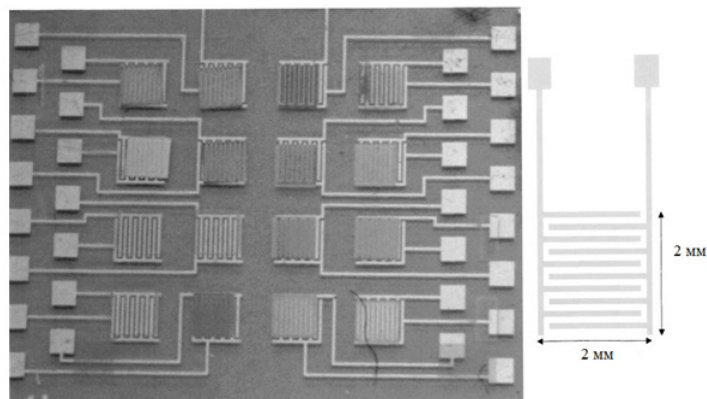


Рис. 5. Фотография матрицы сенсоров с изображением электродов, на которые осаждались чувствительные элементы

В работе [4] представлена матрица из 40 сенсоров, которая применяется для анализа состава окружающей среды градиентным методом (рисунок 6). На пластину кремния площадью около 100 мм², окисленную сверху и снизу, с помощью технологии магнетронного распыления наносился чувствительный слой SnO_2 , а затем 40 полосок платиновых электродов. По краям пластины формировались терморезисторы, а на ее обратной стороне – четыре платиновых нагревательных элемента, обеспечивающие градиент температуры вдоль чувствительного слоя. В рабочем режиме разность температур на концах матрицы составляет 50 °С. Поверх диоксида олова ионно-лучевым распылением осаждался пористый слой SiO_2 , толщина которого плавно изменяется до 20 нм. При этом чувствительность остается достаточно высокой. Слой окисла является мембраной, для которой коэффициент пропускания к каждому отдельно взятому газу свой собственный и который нелинейно зависит от толщины мембраны. Влияя на кинетику поверхностных реакций, слой окисла также выступает в качестве дополнительного параметра, облегчающего анализ состава окружающей среды. При этом, защищая поверхность чувствительного слоя, мембрана повышает стабильность характеристик матрицы сенсоров. Таким образом, за счет градиентов температуры и толщины слоя SiO_2 образуются области с различной удельной электропроводностью, что позволяет достичь высокой селективности.

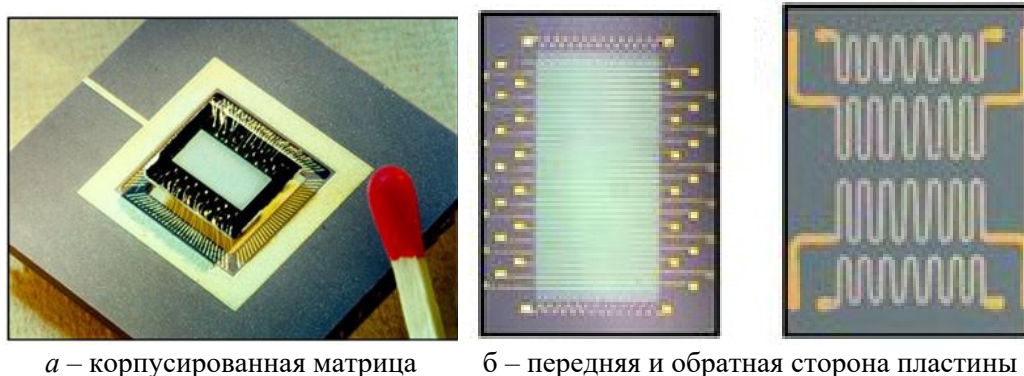


Рис. 6. Фотографии матрицы из 40 сенсоров, которая применяется для анализа состава окружающей среды градиентным методом

Ряд газовых сенсоров построен на основе прозрачных проводящих оксидов, которые чувствительны по отношению к составу определенной газовой среды. Например, в работах [5, 6] осуществлен анализ материалов, перспективных при изготовлении прозрачных проводящих покрытий. В работах [7, 8] рассмотрены технологические аспекты получения методом спрей-пиролиза пленок на основе диоксида олова, легированного сурьмой.

Представленные результаты анализа мультисенсорных систем газоаналитических приборов использованы при разработке конструкций газовых сенсоров на основе прозрачных проводящих оксидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mohammad Hadi Shahrokh Abadi, Mohd Nizar Hamidon, Abdul Halim Shaari, Norhafizah Abdullah, Rahman Wagiran. SnO₂/Pt thin film laser ablated gas sensor array // *Sensors*. 2011. № 11. P. 724–7735.
2. Wollenstein J., Plaza J. A., Cane C., Min Y., Bottner H., Tuller H. L. A novel single chip thin film metal oxide array // *Sensors and Actuators B*. 2003. Vol. 93 P. 350–355.
3. Aronova M. A., Chang K. S., Takeuchi I. Combinatorial libraries of semiconductor gas sensors as inorganic electronic noses // *Applied Physics Letters*. 2003. Vol. 83. P. 1255–1257.
4. Goschnick J. An electronic nose for intelligent consumer products based on a gas analytical gradient microarray // *Microelectronic Engineering*. 2001. Vol. 57–58. P. 693–704.
5. Зинченко Т. О., Печерская Е. А. Анализ материалов, используемых для производства прозрачных проводящих покрытий // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. / под ред. Л. Р. Фионовой. Пенза, 2018. С. 256–258.
6. Ракша С. В., Кондрашин В. И., Печерская Е. А., Николаев К. О. Функциональные материалы для сенсibilизированных красителем солнечных элементов // Физика и технология наноматериалов и структур : сб. науч. ст. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. / Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ), Курск, 2015. С. 143–146.
7. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В. [и др.]. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 2 (28). С. 99–107.
8. Zinchenko T., Pecherskaya E., Artamonov D. The properties study of transparent conductive oxides (TCO) of tin dioxide (ATO) doped by antimony obtained by spray pyrolysis // *AIMS Materials Science*. 2019. Vol. 6, № 2. P. 276–287.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЕФОРМАЦИИ КОНТАКТНОГО ТИПА ДЛЯ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ

**Алексей Анатольевич Трофимов¹, Валерий Валерьевич Козлов²,
Тимофей Олегович Жуков³, Андрей Анатольевич Максов⁴**

^{1,2,3,4}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Ракетно-космическая и авиационная техника, нового поколения требует создание новейших структур чувствительных элементов и методов их изготовления, которые отвечали бы высоким требованиям по надежности и ресурсу прочности для решения специфических задач. Контроль технического состояния изделий ракетно-космической

и авиационной техники в течение периода возможного температурного воздействия экстремально высокого диапазона должен носить систематический характер и позволять осуществлять оценку происходящих изменений и структурных нарушений на основе количественных критериев, а также позволять управлять и компенсировать влияния высоких температур, шумов и механических напряжений. Помимо контроля температурных режимов, важнейшим фактором является деформация элементов конструкции двигателя и обтекателя. Оценка состояния данных элементов является определяющим процессом для осуществления безаварийной работы изделий ракетно-космической и авиационной техники.

В области разработки информационно-измерительных систем для изделий ракетно-космической и авиационной техники, уже нашли широкое применение чувствительные элементы на основе волоконно-оптической технологии. В настоящее время областью применения данной технологии является использование её в информационно-измерительных системах, контролирующих параметры окружающей среды, такие как: температура, влажность, давление, деформация, перемещение, ускорение.

На сегодняшний день для измерения экстремально высоких температур в условиях эксплуатации космических аппаратов и используются датчики на основе термоэлектрических преобразователей, для измерения деформации – тензорезистивные, однако датчики, реализованные на волоконно-оптических технологиях, обладают рядом преимуществ:

- безиндуктивность (защищенность от воздействия внешних электромагнитных полей и наводок) – обусловлена тем, что регистрация отклика на воздействие от измеряемой величины производится в оптическом диапазоне частот;

- высокая надежность и воспроизводимость измерений – обусловлена стабильностью используемых методов регистрации оптического излучения, в том числе применением спектральных методов;

- электроизоляционная прочность – напряжение электрического пробоя кварцевого стекла, составляет ~ 10 кВ/мм (при 20 °С) и $\sim 2,5$ кВ/мм (при 500 °С);

- высокая пожаробезопасность, обусловленная отсутствием в конструкциях чувствительных элементов электрических токов и нагреваемых областей, а также возможностью использования негорючих веществ;

- низкое энергопотребление (единицы ватт), обусловленное высокой эффективностью современных источников и приемников оптического излучения, а также относительно высокой оптической мощностью, требуемой для работы системы измерений.

Один из перспективных путей развития волоконно-оптической измерительной техники связан с созданием термопреобразователей на основе частотной модуляции. Такие преобразователи сочетают традиционные преимущества волоконной оптики и возможность проведения измерений в области экстремально высоких температур за счет использования волновода из кристалла лейкоапфира.

Предлагаемая технология изготовления волоконно-оптической системы измерения температуры и деформации позволяет создавать измерительные системы, выгодно отличающиеся от традиционных комплексов аналогичного назначения стоимостью и технологичностью производства.

Технология относится к функциональной группе базовых технологий – изготовления, проектирования, сборочные технологии. Объектом исследований данной работы является разработка технологии изготовления волоконно-оптической системы для измерения температуры и деформации для компонентов системы двигателя и элементов конструкции обтекателя.

Основанием для отнесения технологии к базовой является применяемость в различных изделиях ракетно-космической и авиационной техники.

Результаты работы по разработке и внедрению базовой технологии могут быть использованы предприятиями авиастроительного комплекса, атомной энергетики, ТЭК, для научных и прикладных исследований и других отраслях экономики России.

Внедрение результатов работы позволит создавать информационно-измерительные и управляющие системы, обеспечивающие раннее обнаружение отказов аппаратуры ракетно-космической, авиационной техники и с использованием быстродействующей аппаратуры на основе волоконной оптики, что позволит проводить диагностику до наступления необратимых последствий.

Разработка и исследование распределенной волоконно-оптической системы контактного типа для измерения температуры и деформации компонентов систем двигателя и элементов конструкции обтекателя позволят реализовать технологии производства «умных» конструкций и материалов для перспективных изделий ракетно-космической, авиационной техники

Технологии мониторинга конструкций открывают широкие возможности для сокращения затрат и повышения эффективности, открывают новые возможности и приложения, которые не были возможны при традиционных системах контроля.

Разрабатываемая технология обеспечит:

- повышение тактико-технических характеристик измерительных систем для изделий ракетно-космической, авиационной техники, а также объектов наземной космической инфраструктуры;

- решение задач импортозамещения в части развития отечественной элементной базы датчикоостроения, совершенствования датчиков и на их основе систем измерения, контроля, диагностики и управления для изделий ракетно-космической, авиационной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимов А. А., Кикот В. В., Фокина Е. А. [и др.]. Исследование технологии создания высокотемпературных текстурированных материалов для изготовления многослойных пьезоэлементов преобразователей // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 2. С. 90–95.

2. Губич И. А., Кикот В. В., Трофимов А. А. [и др.]. Исследование многослойных пьезоактюаторов инжекторов системы управления питанием двигателей внутреннего сгорания // Проблемы автоматизации и управления в технических системах : XXXIV Междунар. науч-техн. конф. Пенза, 2021. С. 98–103.

3. Трофимов А. А., Кикот В. В., Фокина Е. А. [и др.]. Исследование технологии создания высокотемпературных текстурированных материалов для изготовления многослойных пьезоэлементов преобразователей // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 2. С. 90–95.

АКТУАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БИОНИЧЕСКОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА

Анна Антоновна Анисимова

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение

В целом идея использования шагающих роботов рассматривается многими исследователями. Выбор конструкций зависит от задач, поставленных перед шагающей машиной. Возможности применения упрощенной конструкции, сокращения подвижности конечностей, упрощения систем управления, обеспечения движения возникает в случаях, когда к роботу не предъявлены требования перемещения по сложным поверхностям,

в случаях, когда часть управления [1] берет на себя оператор. В более жестких условиях эксплуатации, при необходимости действовать полностью или частично автономно и при заранее неизвестном состоянии опорной поверхности, робот должен иметь конструкцию с большей степенью подвижности конечностей. Это приводит к необходимости построения сложной системы управления [2–4].

Обзор шагающих роботов

Особенности конструкции Хекс Крола (HexCrawler), позволяют ему передвигаться по неровной поверхности. Корпус робота выполнен из алюминия. Привод осуществляется с помощью двенадцати сервомоторов, позволяющих ему развивать большую скорость. Имеется три группы конечностей, каждая из которых включает по две конечностей. Одна группа выполняет только опорную функцию. Две остальные используются для обеспечения движения. Каждая из этих групп приводится в движения одним сервоприводом. Кинематика робота [5] сильно упрощена, так же как и система управления, обеспечения движения. Вследствие чего снижена маневренность, требования к качеству поверхности, наоборот, повышены (рис. 1).

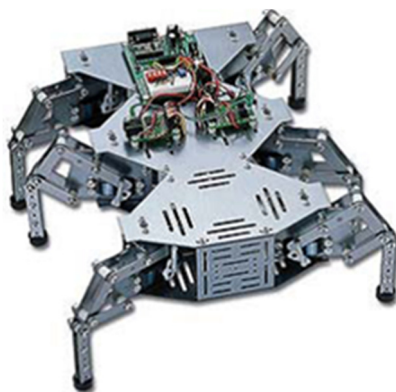


Рис. 1. Шагающий робот HexCrawler

Волкен Форест Машин (Walking forest machine (WFM)), разрабатывалась как средство передвижения по пересеченной местности с минимальным пагубным влиянием на опорную поверхность (по сравнению с колесным и гусеничным транспортом). WFM обладает высокой манёвренностью. В зависимости от неровностей ландшафта, оператор может изменить высоту машины и высоту каждого шага, однако решения по выбору маршрута, регулировке высоты шага принимает оператор-водитель (рис. 2).



Рис. 2. Шагающий робот Walking forest machine

Фирма Boston Dynamics разработала четвероногого робота Биг Дог (Big Dog), который должен стать спутником солдата в самых сложных природно-климатических условиях. Благодаря разработанной системе управления [6], данный робот обладает

высокой устойчивостью при движении по неровной, скользкой поверхностям и способен удерживать равновесие даже при внешнем механическом воздействии. Робот может работать в нескольких режимах: перемещение по координатам, следовании за лидером. Может передвигаться галопом, бегом, ползком. Он снабжен двигателем и спецсредствами, обеспечивающими её управление, передвижение, ориентацию на местности и связь. В качестве источника энергии для Big Dog используется двухтактный двигатель внутреннего сгорания с водяным охлаждением мощностью в 15 л.с. Силовую установку, раз-работчики планируют заменить на менее шумную (рис. 3).



Рис. 3. Шагающий робот Big

Известная американская робототехническая компания Boston Dynamics представила робота Cheetah («Гепард»), установившего новый рекорд скорости для шагающих роботов. Четырехногий робот Cheetah смог разогнаться до 28,9 километров в час. Механика робота [7–9] инспирирована самым быстрым животным на планете. Также как и гепард, робот развивает скорость за счет сгибания и разгибания «спины», что обеспечивает увеличение силы толчка конечностями (рис. 4).

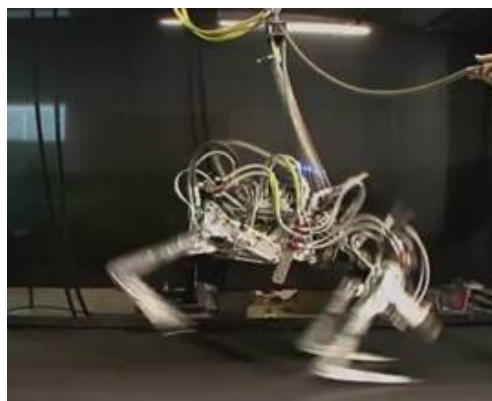


Рис. 4. Шагающий робот Cheetah

Платформа X-RHex схожа с Mini Mechadon. Однако у нее есть ощутимые преимущества в проходимости. Шесть «лап» синхронного робота вращаются «по три», примерно копируя методику перемещения прочих гексоподов. Только сами ноги представляют собой полукруглые упругие пластины с резиновым покрытием. Такая конструкция позволяет роботу довольно успешно двигаться по траве, песку, щебенке, грязи и многим другим типам поверхности, которые могут затруднять движение как колесных, так и шагающих роботов. При этом конструкция способна преодолевать достаточно заметные относительно собственных размеров препятствия (рис. 5).



Рис. 5. Шагающий робот X-RHex

Рассмотрим недостатки и достоинства представленных конструкций (табл. 1).

Таблица 1

Наименование	Достоинства	Недостатки
Робот HexCrawler	Легкий Упрощенная система обеспечения движения	Низкая маневренность и проходимость по местности со сложным рельефом
Робот X-RHex	Высокая проходимость и возможность преодолевать достаточно заметные относительно собственного размера	Не имеет возможности полной развязки конечностей от опорной поверхности, траектория движений конечностей не меняется, и нет возможности выбора произвольных точек опор для конечностей
Робот Walking forest machine	Высокая маневренность и проходимость	Не обладает автономностью и управляется водителем в первом случае и удаленным оператором – во втором

Перспективными можно признать разработки фирмы Boston Dynamics – роботы BigDog, Cheetah. Они прошли успешные испытания и благодаря применению современных технологий и усовершенствования алгоритмов систем управления, достигли результатов, ранее не доступных шагающим роботам. Область применения этих роботов – военные операции, а проект финансируется DARPA. Алгоритмы систем управления и их реализация является коммерческой тайной Boston Dynamics и не подлежат размещению в открытых источниках.

Заключение

В результате проведенной работы был проведен анализ шагающих роботов, которые могут использоваться в недетерминированной среде.

Выявлены, основные недостатки и достоинства для шагающих роботов с большим количеством ног. Главными критериями оценки данных видов роботов являются проходимость и маневренность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фор М. Роботы наступают. Развитие технологий и будущее без работы : монография. М. : Альпина нон-фикшн, 2016. 430 с.
2. Печерская Е. А. Математические модели предметной области при исследовании параметров материалов нано- и микроэлектроники // Университетское образование : сб. ст. XV Междунар. науч.-метод. конф., посвящ. 50-летию полета первого космонавта Ю. А. Гагарина / под ред. В. И. Волчихина, Р. М. Печерской. Пенза, 2011. С. 436–438.
3. Artamonov D. V., Golubkov P. E., Pecherskaya E. A. [et al.]. Methods of applying the reliability theory for the analysis of micro-arc oxidation process // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1124, № 8. P. 081014.

4. Печерская Е. А., Бобошко А. В., Соловьев В. А. Методики принятия решений как составная часть интеллектуальной системы поддержки исследований материалов функциональной электроники // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2011. № 1. С. 229–231.
5. Робот // Большая советская энциклопедия : в 30 т. / гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. М. : Сов. энциклопедия, 1969–1978.
6. Удивительная техника. М. : Эксмо : Наше слово, 2016. 176 с.
7. Тимофеев А. В. Роботы и искусственный интеллект. М. : Наука, 2005. 192 с.
8. Урваев И. Н. Навигация мобильного робота на основе методов лазерной дальнометрии // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 1 (35). С. 44–51.
9. Полтавский А. В., Григорьев А. В., Мельничук А. И. [и др.]. Оптимизация моделей объектов информационно-измерительных и управляющих систем мобильных роботов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2 (44). С. 28–38.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ С МДО-ПОКРЫТИЕМ В ИЗДЕЛИЯХ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ

**Ангелина Евгеньевна Журина¹, Никита Сергеевич Емельянов²,
Екатерина Анатольевна Печерская³**

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Финансирование: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект «Фундаментальные основы цифрового двойника технологического процесса формирования оксидных покрытий с заданными свойствами методом микродугового оксидирования», № 123091800009-1.

Обработка поверхности металлов берет свое начало с процесса анодирования. В настоящее время наиболее популярным способом обработки металлов является микродуговое оксидирование (МДО). Это электрохимический процесс, который представляет собой плазмохимический метод упрочнения металлических образцов из вентильных металлов, обладающих униполярной проводимостью в системе «металлоксид-электролит». МДО обработка проводится на таких металлах, как алюминий, магний или титан. Покрытия, получаемые данным методом, представляют собой оксидный слой, состоящий из кристаллических модификаций оксида алюминия и имеют высокую температурную стойкость [1]. К тому же, покрытия являются универсальными и обладают стабильными свойствами, такие как износостойкость, коррозионная стойкость, теплоустойчивость, электроизоляционные свойства [2]. Все эти свойства позволяют использовать технологии нанесения МДО покрытий на медицинский инструмент из алюминиевых сплавов для предотвращения коррозии, получать неотторгаемые биокерамические имплантаты на базе титана и циркония.

Имплантаты из магниевых сплавов обычно не используются, поскольку скорость растворения магния в физиологической среде ограничивает их применение. Даже после классической МДО обработки образцов, пористость поверхности повышается, из-за чего ухудшается смачиваемость имплантатов и повышается их гидрофобности. Применение имплантатов ограничено поскольку, может произойти раннее отторжение имплантата из-за недостаточной первичной стабильности, или протекать ранние или поздние деструктивные изменения интерфейса кости или имплантата [3]. В последние годы исследования все чаще посвящены улучшению молекулярных взаимодействий, а также клеточному ответу на имплантационные биоматериалы.

В работе [4] показано, что нанесение покрытия из оксида графена методом микродугового оксидирования повышает коррозионную стойкость и биосовместимость

магниевого сплава. Показано, что количество оксида графена в поверхностном слое образца влияет на уменьшение размеров пор в оксидном покрытии по мере увеличения содержания оксида графена. Согласно результатам электрохимических испытаний, образцы с покрытием микродугового оксидирования оксида графена имеют более высокую коррозионную стойкость по сравнению с образцами с МДО-покрытием и без него. Показано, что коррозионная стойкость значительно возрастает с увеличением концентрации оксида графена.

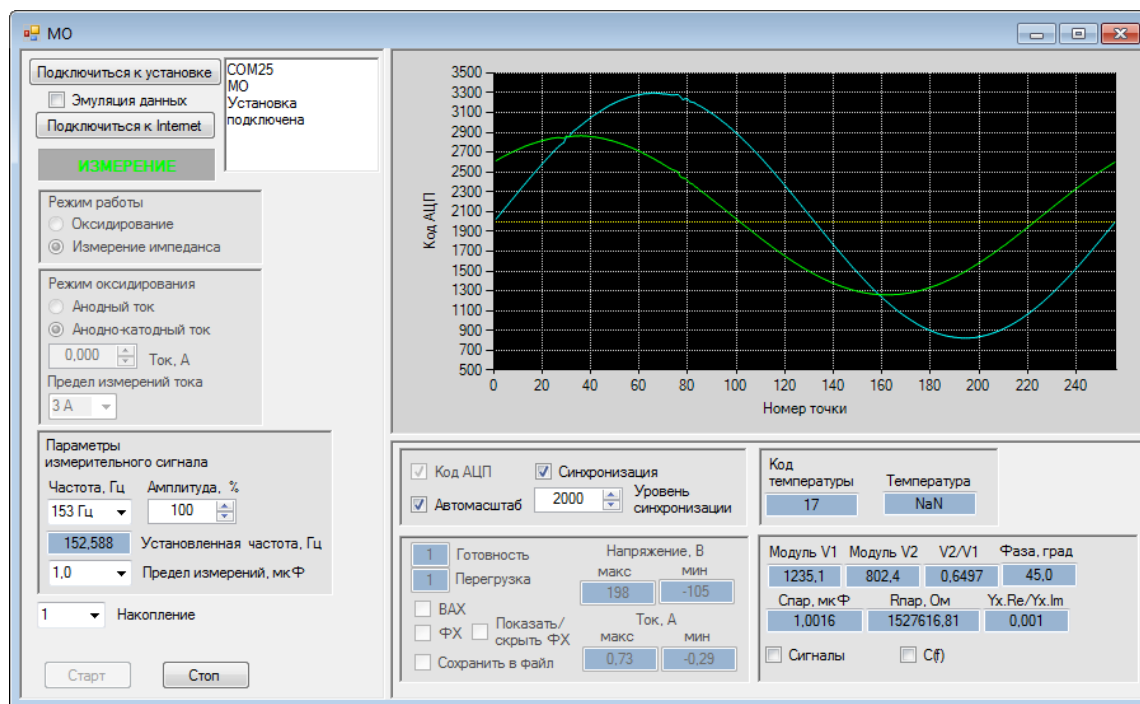


Рис. 1. Окно интерфейса автоматизированной системы для управляемого синтеза оксидных покрытий

В работах [5–7] предложена автоматизированная система для управляемого синтеза оксидных покрытий. Отличительной особенностью и преимуществом данной системы является возможность задания и контроля параметров технологического процесса, а также параметров покрытий. В частности, на рис. 1 представлено окно интерфейса автоматизированной системы для управляемого синтеза оксидных покрытий. Интеллектуальное приложение в составе разработанной автоматизированной системы позволяет в режиме реального времени измерять как параметры технологического процесса, так и косвенно определять параметры синтезируемых покрытий (толщину, микротвердость, пористость и др.) по результатам измерений вольт – амперных характеристик, формовочных кривых.

Авторами выполнены исследования оксидных покрытий, полученных с помощью автоматизированной системы [8, 9] в анодно-катодном режиме при соотношении анодного и катодного токов. Предлагается использовать данную автоматизированную систему для исследования влияния концентрации оксида графена электролита на свойства образцов из алюминия и магниевых сплавов. Рассмотрение возможности применения полученных образцов в качестве медицинских имплантатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В., Козлов Г. В., Печерский А. В. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 2 (28).

2. Егоршин П. Е., Гуськов Д. О., Семунин В. В. Аналитический обзор современного состояния развития технологии микродугового оксидирования // Теория и практика современной науки. 2018. № 3 (33).
3. Рубникович С. П., Хомич И. С., Минченя В. Т. Исследование влияния низкоинтенсивного импульсного ультразвука на смачиваемость поверхности титановых дентальных имплантатов в эксперименте // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2016. № 7 (101).
4. Esmaili S., Ahmadi T., Noorbakhsh A. A., Bakhsheshi-Rad H. R., Berto F. Коррозионное поведение и биосовместимость покрытий с оксидом графена, полученных методом микродугового оксидирования на магниевом сплаве // Физическая мезомеханика. 2022. № 4. С. 122–138.
5. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В. [и др.]. Исследование влияния технологических параметров процесса микродугового оксидирования на свойства оксидных покрытий // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2019. Т. 24, № 4. С. 363–369. doi: 10.24151/1561-5405-2019-24-4-363-369 EDN: BGZLDZ
6. Golubkov P. E., Pecherskaya E. A., Melnikov O. A. [et al.]. Modeling of the protective coatings formation mechanism by micro-arc oxidation // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1695 (1). P. 012178.
7. Golubkov P. E., Pecherskaya E. A., Karpanin O. V. [et al.]. Automation of the micro-arc oxidation process // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 917, № 9. P. 092021.
8. Artamonov D. V., Golubkov P. E., Pecherskaya E. A. [et al.]. Methods of applying the reliability theory for the analysis of micro-arc oxidation process // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1124, № 8. P. 081014.
9. Голубков П. Е., Печерская Е. А., Мартынов А. В. Применение инструментов контроля качества для анализа процесса микродугового оксидирования // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : тез. докл. Третьей всерос. молодеж. науч. конф. Тамбов, 2018. С. 111–113.

ГЕТЕРОГЕННЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

**Дмитрий Борисович Крюков¹, Алексей Олегович Кривенков²,
Сергей Николаевич Чугунов³, Максим Сергеевич Гуськов⁴,
Сергей Алексеевич Миронов⁵, Антон Алексеевич Акимов⁶**

^{1,2,3,4,5,6}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Финансирование: работы осуществлялись при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Договор 4619ГС1/78340 от 27.07.2022) в рамках реализации инновационного проекта «Разработка композиционного бронированного материала нового типа на основе легких металлов и сплавов».

Гетерогенные металлические материалы (ГММ) широко используются как в химическом машиностроении, атомной энергетике, станкостроении, приборостроении, так и космической и оборонной сфере.

Основные свойства ГММ

ГММ обладают рядом уникальных свойств, которые делают их идеальными для использования в различных сферах. К ним относятся:

- Высокая прочность: БКМ имеют высокую прочность на растяжение, сжатие и изгиб, что делает их идеальным материалом для создания броневых конструкций.
- Легкость: БКМ значительно легче традиционных металлов, таких как сталь, что снижает вес конструкций и экономит энергию при транспортировке.
- Ударная вязкость: БКМ обладают высокой ударной вязкостью, что позволяет им выдерживать сильные удары без разрушения.

– Коррозионная стойкость: БКМ устойчивы к коррозии и другим химическим воздействиям, что обеспечивает их долговечность и надежность.

Применение ГММ

Благодаря своим уникальным свойствам, ГММ широко используются в различных областях.

– Военная техника: ГММ используются для создания бронированных автомобилей, танков, вертолетов и других видов военной техники, обеспечивая им высокую степень защиты от стрелкового оружия, мин и других угроз.

– Авиакосмическая промышленность: ГММ применяются для создания корпусов ракет, спутников, космических кораблей и других летательных аппаратов, обеспечивая им защиту от космического мусора и микрометеоритов.

– Гражданские объекты: ГММ также используются для строительства мостов, тоннелей и других инфраструктурных объектов, обеспечивая им повышенную прочность и долговечность.

Перспективы развития ГММ

В настоящее время ведутся исследования по дальнейшему развитию ГММ для улучшения их свойств и расширения областей применения. Некоторые из перспективных направлений развития БКМ включают:

– Улучшение механических свойств: разработка новых технологий производства ГММ позволит улучшить их механические свойства, такие как прочность, жесткость и ударная вязкость. Это позволит создавать более легкие и эффективные броневые конструкции с повышенной степенью защиты.

– Новые материалы на основе ГММ: исследование новых материалов на основе ГММ может привести к созданию новых, более эффективных и легких броневых систем. Например, создание нанокompозитов на основе ГММ позволяет улучшить их свойства и снизить вес конструкций.

При проектировании и получении новых ГММ главной проблемой является невозможность обеспечения качественного соединения разнородных металлов на межатомном уровне с равнопрочным соединением слоев между собой. Традиционно применяемые технологии формирования металлокомпозитов, такие как пакетная горячая прокатка, диффузионная сварка, наплавка и др., имеют ряд существенных ограничений.

В этой связи, в последние годы доминирующее место в этом направлении заняла технология сварки материалов взрывом, которая позволяет получать качественные металлические гетерогенные материалы с заданным комплексом физико-механических свойств. Технология сварки взрывом основана на использовании энергии ударных волн и сверхвысоких давлений для обеспечения межатомного контакта соединяемых материалов, а отсутствие существенного нагрева металла в зоне контакта слоев в технологическом цикле сварки, позволяет сваривать между собой металлы с различной температурой плавления.

Коллектив авторов статьи проводит исследования в области получения легких гетерогенных металлических материалов нового поколения для изготовления брони [1–5]. В основу технологии положено запатентованное авторами схемное решение, предусматривающее использование в схеме гетерогенного материала внутренних перфорированных армирующих слоев.

Проведена серия экспериментов по получению композиционного материала на основе сплавов алюминия и титана. Помимо повышения прочностных показателей армирующие слои выполняют роль слоев, локализирующих развитие хрупких трещин, возникающих при баллистическом воздействии на гетерогенный бронематериал. Благодаря тому, что в структуре композита имеется возможность контакта через перфорации между слоями металлической основы матрицы, локализация хрупких трещин происходит на их границе сохранив целостности конструкции.

Таким образом, полученные авторами результаты позволяют говорить о том, что использование легких броневых материалов нового поколения полученных с использованием технологии сварки взрывом позволит существенно улучшить тактико-технические характеристики бронированной техники как военного, так и гражданского назначения.

Броневые композиционные материалы являются перспективным направлением развития материалов для различных отраслей промышленности. Благодаря своим уникальным свойствам и широкому спектру применения, а ГММ представляют собой важный и быстро развивающийся сегмент рынка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крюков Д. Б., Кривенков А. О., Чугунов С. Н. Схемные решения, структура и свойства гетерогенных материалов // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. № 9 (106). С. 29–35. doi: 10.30987/1999-8775-2021-9-29-35
2. Крюков Д. Б. Структурные особенности и технология получения легких броневых композиционных материалов с механизмом локализации хрупких трещин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2022. Т. 24, № 3. С. 103–111. doi: 10.17212/1994-6309-2022-24.3-103-111
3. Крюков Д. Б. Перспективные легкие трещиностойкие брони, полученные с применением технологии сварки взрывом // Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. Т. 18, № 10 (214). С. 440–443. doi: 10.36652/1813-1336-2022-18-10-440-443
4. Крюков Д. Б., Чугунов С. Н., Кривенков А. О., Гуськов М. С. К вопросу о разработке новых перспективных композиционных броневых материалов для бронемашин и средств индивидуальной защиты // Наука и инновации: исследование и достижения : сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 28–29 сентября 2022 г). Пенза : Приволжский Дом знаний, 2022. С. 65–69.
5. Крюков Д. Б. Аспекты получения легких броневых композиционных материалов с механизмом локализации хрупких трещин в структуре при баллистическом воздействии // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. 2023. № 1 (25). С. 20–28. doi: 10.25686/2542-114X.2023.1.20

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ И ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

Александр Андреевич Тугускин¹, Дмитрий Владиславович Тразанов²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Рассмотрим современные методы соединения металлической мембраны и печатной платы датчика давления:

1. Метод связывания соединения в переходной жидкой фазе

Связывание в переходной жидкой фазе основано на диффузионных процессах и образовании интерметаллических фаз. Давление, температура и вакуум необходимы в течение всего процесса (рис. 1). Основное преимущество заключается в том, что температура плавления полученного соединительного сплава значительно выше температуры процесса склеивания. Данный метод используется, например, в микроэлектронной упаковке для высокотемпературных применений.

Металлизация печатной платы покрыта дополнительным слоем серебра 12 мкм (Ag) и олова 6 мкм (Sn). Этот слой связан с мембраной CuSn8 в процессе склеивания в переходной жидкой фазе за счет образования интерметаллических фаз. Возможными полученными сплавами являются Cu₆Sn₅, Cu₃Sn и Ag₃Sn. Комбинация Ag–Sn была выбрана, поскольку исследования выявили уменьшение пор в TLP-связке и улучшение

механических свойств в переходной жидкой фазе – связке по сравнению с чистым Ag или чистым Sn. Параметры процесса, используемые в этой работе, включали температуру 250 °С, время процесса 30 минут, давление 13,8 МПа и вакуум 2,2 мбар.

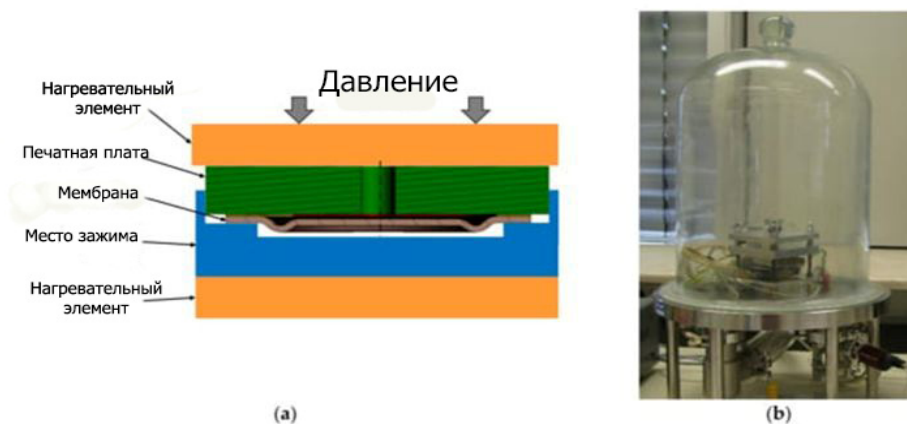


Рис. 1. Процесс склеивания в переходной жидкой фазе:
а – схема поперечного сечения; б – аппарат для склеивания в вакууме

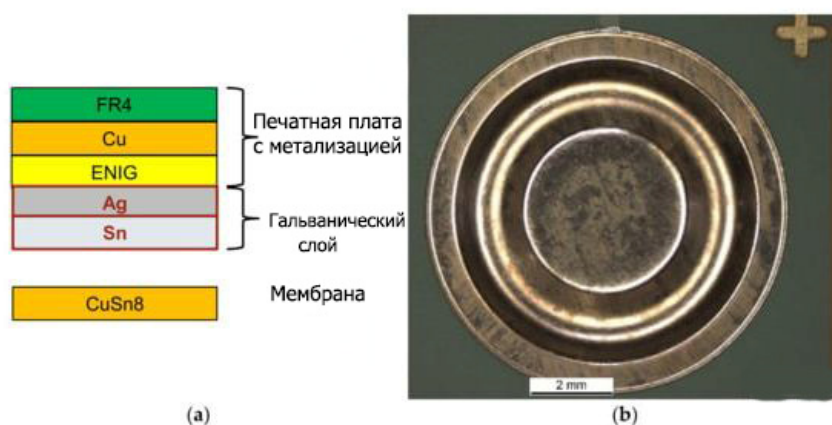


Рис. 2. Склеивание в переходной жидкой фазе:
а – схема поперечного сечения слоистой структуры; б – вид сверху на склеивание в переходной жидкой фазе – связанную мембрану

2. Реактивное присоединение

Реактивное соединение использует экзотермическую реакцию для получения тепла, необходимого для пайки. Поскольку тепло генерируется только локально, можно соединять термочувствительные материалы. Для пайки реактивная фольга укладывается между двумя слоями припоя (рис. 3,б). Реактивная фольга представляет собой многослойный металл. Возможны различные комбинации материалов с разным количеством тепловой энергии. Реактивное соединение может быть адаптировано к широкому спектру материалов для пайки. Энергия активации для начала реакции обычно обеспечивается электрической искрой (рис. 3,а).

Структура слоев показана на рисунке 3 б. Для примера использовались мембраны из нержавеющей стали 1,4435 с напыленным никель-золотым (Ni+Au) покрытием и никель-алюминиевые (Ni-Al) реактивные фольги, покрытые оловянным (Sn) припоем. Для соответствия форме пайки и крепления точек воспламенения фольга была структурирована с помощью лазерной резки. Эта заготовка (рис. 4,а) была помещена вместе с мембраной на металлизацию печатной платы. На рис. 4,б показана схема реактивного

соединения. Для позиционирования и приложения давления во время процесса соединения использовали клеевой пресс.

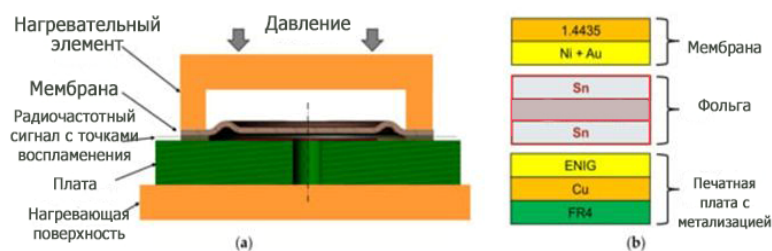


Рис. 3. Процесс реактивного соединения:
а – схема поперечного сечения оборудования;
б – эскиз поперечного сечения слоистой структуры

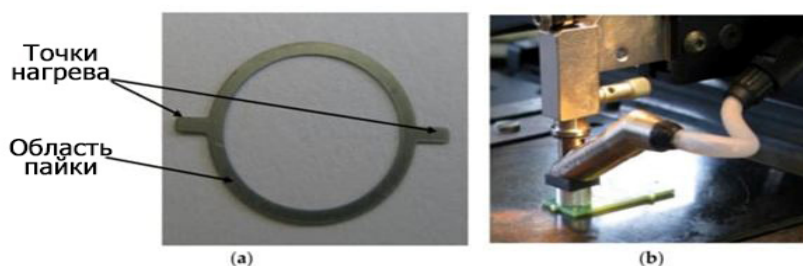


Рис. 4. Реактивное соединение:
а – ВЧ-преформа; б – прибор с нагретой установочной головкой,
используемой для реактивного соединения

5. Сравнение процессов соединения

В табл. 1 сравниваются все методы. Использование оборудования для серийного производства приводит к разным результатам. В частности, для склеивания в переходной жидкой фазе время процесса сильно зависит от используемого оборудования. Активное охлаждение нагревательных пластин значительно сокращает время процесса, а время склеивания без нагрева и охлаждения занимает несколько минут.

Таблица 1

Сравнение процессов стыковки мембраны и платы на различном оборудовании

	Электросварка сопротивлением	Реактивное присоединение	Серебряное спекание	Соединение в переходной жидкой фазе
Продолжительность подготовки процесса ¹	<1 мин.	<1 мин.	<1 мин.	~2,5 мин.
Время обработки	<1 мин.	<1 мин.	120 мин.	30 минут.
Потребляемая процессом энергия	Средняя	Низкая	Высокая	Высокая
Стоимость технологического материала	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая
Стоимость технологического оборудования	Высокая	Низкая	Низкая	Высокая

1 - Время без учета времени на подготовку мембраны и печатной платы, а так же на подготовку оборудования

Нанесение пасты для спекания также обходится недорого. Реактивное соединение требует очень низких энергозатрат из-за быстрого процесса и может выполняться с помощью недорогого оборудования, давление необходимо всего на несколько секунд. Поскольку требуются контролируемые высокие пики энергии в течение короткого периода времени, стоимость оборудования для контактной сварки высока по сравнению с другими процессами.

Эксплуатационные затраты на сварку сопротивлением самые низкие, так как не требуется никаких дополнительных материалов, и необходимо учитывать только износ электрода. Для спекания серебра необходима относительно дорогая паста для спекания. Нано-размерная многослойная фольга с покрытием из припоя также является дорогостоящей, и ее необходимо обрезать лазером до точной формы соединения. Для соединения в переходной жидкой фазе печатные платы должны быть покрыты гальванопокрытием, что увеличивает затраты на единицу продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мембраны и мембранные технологии : сб. ст. М. : Научный мир, 2013.
2. Дмитриенко А. Г., Волчихин В. И., Блинов А. В., Ломтева Е. А. Тенденции развития датчиковой аппаратуры и систем измерения, мониторинга, контроля и диагностики технически сложных объектов на их основе // 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 (г. Пенза, 22–26 октября 2012 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2012.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЭПОХ НА КАЧЕСТВО ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПО РАСПОЗНАВАНИЮ РЕЧЕВЫХ КОМАНД

**Александр Сергеевич Пальков¹, Михаил Михайлович Морозов²,
Валерий Валерьевич Козлов³**

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Распознавание речи является сложной задачей, требующей анализа акустических сигналов и выделения в них смысловой информации. Нейронные сети доказали свою эффективность в решении этой задачи. Однако, для достижения высокой точности распознавания, необходимо правильно настроить параметры сети, включая количество эпох обучения [2].

Эпоха обучения – это одна итерация через весь обучающий набор данных. В процессе обучения нейронная сеть пытается научиться извлекать признаки из входных данных и настраивать веса нейронов так, чтобы минимизировать функцию потерь. Количество эпох определяет, сколько раз весь обучающий набор данных будет передан сети в процессе обучения.

Эпоха обучения – ключевой параметр в процессе обучения нейронных сетей, влияющий на эффективность и результаты моделирования. Этот параметр непосредственно влияет на качество и скорость обучения нейронной сети.

Увеличение количества эпох может привести к лучшей адаптации сети к данным, так как она будет иметь больше шансов идентифицировать различные вариации входных данных и скорректировать свои веса соответственно. Однако, увеличение числа эпох также увеличивает затраты времени на обучение и ресурсозатратность модели, а также может вызвать переобучение.

Переобучение – это явление, при котором модель становится слишком специфичной для обучающих данных и теряет способность к обобщению. Это происходит, когда

модель начинает запоминать обучающие данные, вместо того чтобы извлекать из них обобщенные закономерности. В результате, на новых данных, не входивших в обучающий набор, точность модели может снижаться. Это состояние может значительно снижать производительность модели на реальных задачах и приводить к непредсказуемым результатам [3].

Недообучение – это другой экстремальный случай в процессе обучения нейронной сети, когда модель недостаточно обучена на обучающих данных и не способна извлекать даже основные закономерности или обобщать на новые данные. Это состояние также нежелательно и может привести к низкой производительности модели. Так, если выбрано слишком малое число эпох, модель может не успевать адаптироваться к обучающим данным, ограничивается количество обновлений параметров модели в процессе обучения, что приводит к снижению точности распознавания речевых команд – модель не имеет достаточно времени для изучения сложных закономерностей в данных. Кроме того, нейронная сеть, обученная на малом количестве эпох, не успевает адаптироваться к шуму и посторонним командам [4].

Для целей исследования использовались результаты обучения искусственной нейронной сети в среде Matlab [1].

Проведена серия экспериментов, в ходе которых изменялось количество эпох обучения в диапазоне от 10 до 100 и от 10 до 50 с шагом 10. Для двух экспериментов использовались результаты обучения нейронной сети на разных наборах аудиоданных. Все остальные параметры ИНС были фиксированы. Для каждой эпохи определялась точность распознавания речевых команд.

Исходя из экспериментальных данных, были получены результаты, представленные в виде графиков. На рис. 1 представлена зависимость точности распознавания речевых команд от количества эпох обучения.

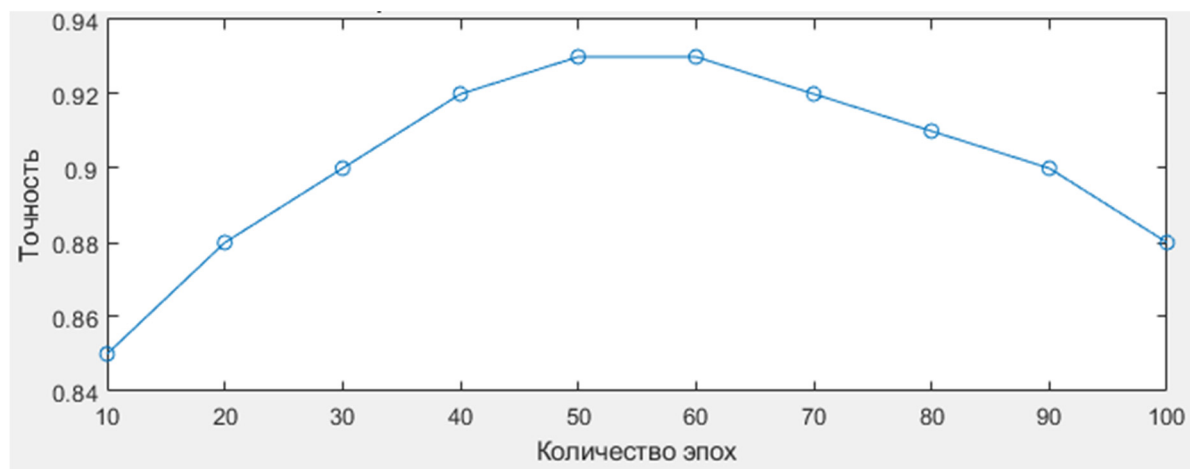


Рис. 1. Точность распознавания речевых команд в зависимости от количества эпох

Видно, что с увеличением числа эпох точность распознавания возрастает. Однако после определенного числа эпох, в данном случае 50, точность перестает расти и начинает снижаться. Это явление может быть связано с переобучением модели [5]. Таким образом, оптимальное количество эпох для данной модели и данных составляет примерно 50.

Пример недостаточно обученной нейронной сети показан на рис. 2.

При начальном количестве эпох точность распознавания достаточно высока и составляет около 0.85. Однако с увеличением числа эпох точность начинает резко снижаться. На последних точках графика точность упала до значительно более низкого

уровня (около 0.72). Это явное снижение точности говорит о том, что модель, обученная с малым количеством эпох, неспособна правильно распознавать речевые команды, что привело к недообучению. На рисунке 3 представлена зависимость функции потерь от количества эпох.

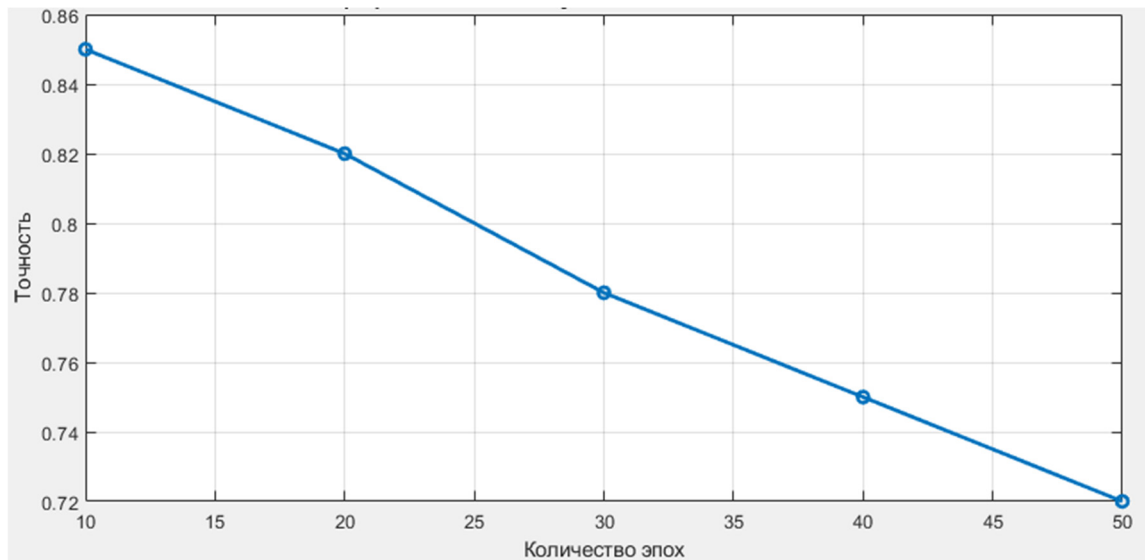


Рис. 2. Точность распознавания речевых команд в зависимости от количества эпох для недообученной нейронной сети

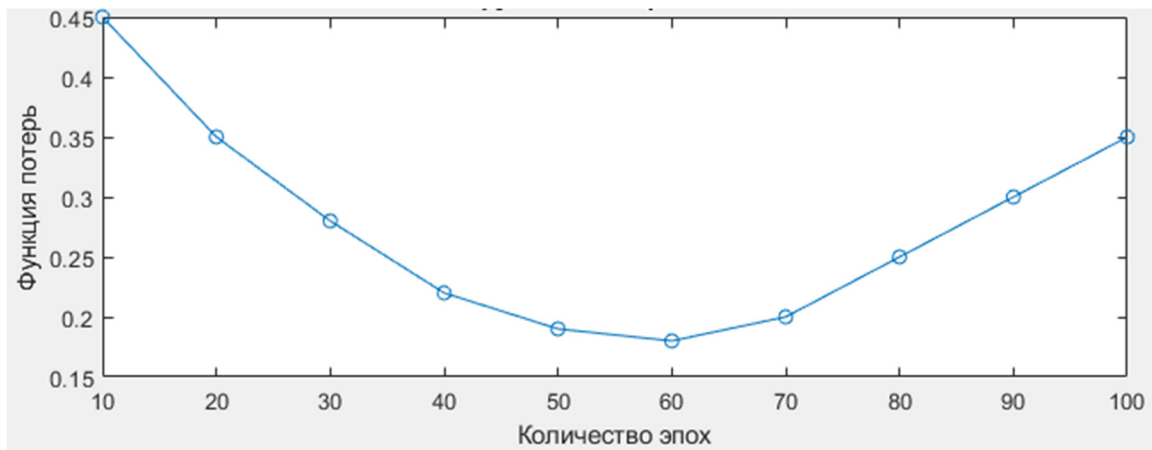


Рис. 3. Зависимость функции потерь от количества эпох

Видно, что с увеличением числа эпох функция потерь уменьшается, что свидетельствует о лучшей адаптации модели к данным. Однако, после определенного числа эпох функция потерь может начать возрастать, что может быть признаком переобучения.

График показывает, что с увеличением числа эпох функция потерь непрерывно уменьшается до примерно 50 эпох. Однако, после этой точки, функция потерь начинает расти, что может свидетельствовать о переобучении модели. Этот график подтверждает оптимальное количество эпох, определенное на рис. 1.

График функции потерь для недообученной нейронной сети представлен на рис. 4.

Начиная с минимального количества эпох, функция потерь устанавливается на высоком значении (0.45) и не уменьшается с увеличением эпох, а наоборот начинает расти. Это указывает на то, что модель не способна достаточно хорошо приблизить целевые значения и описать структуру данных, что также характерно для недообучения.

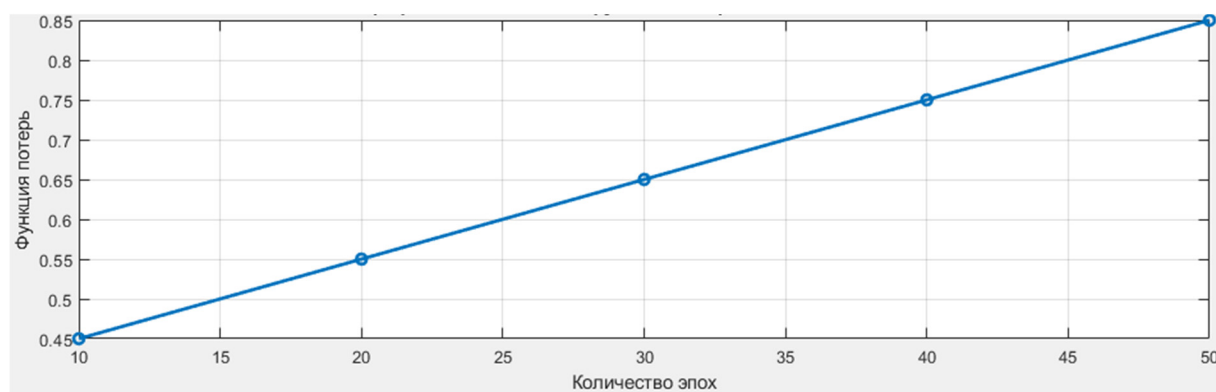


Рис. 4. Зависимость функции потерь от количества эпох для недообученной нейронной сети

На рис. 5 видно, что с увеличением количества эпох время обучения также увеличивается.

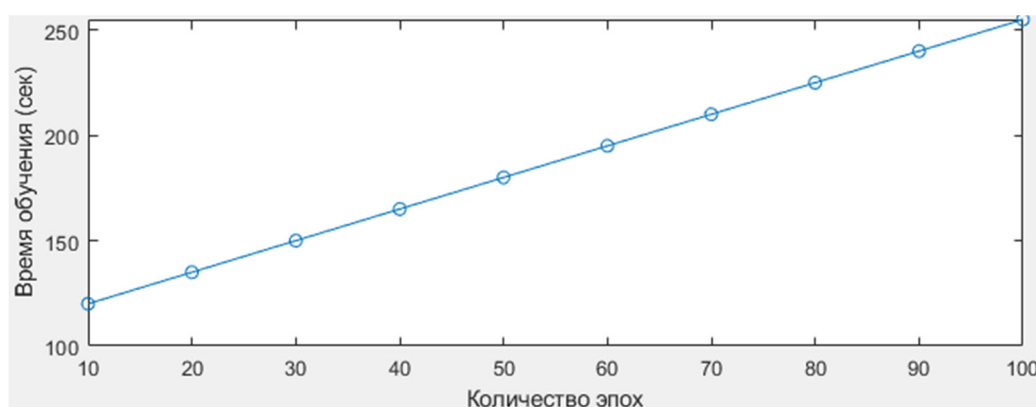


Рис. 5. Время обучения в зависимости от количества эпох

Это означает, что при увеличении числа эпох необходимо учитывать увеличение временных затрат на обучение.

Выбор оптимального количества эпох при обучении может варьироваться в зависимости от конкретной задачи и набора данных. Увеличение количества эпох обучения может улучшить точность распознавания речевых команд, но только до определенного момента, поэтому при настройке обучения нейронной сети рекомендуется проводить подобные эксперименты с целью исключения переобучения модели, а также оптимизации длительности обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В. В. Определение порядка авторегрессионной модели с помощью искусственных нейронных сетей // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль, 2014. № 4 (10). С. 49–52.
2. Козлов В. В., Фокина Е. А., Трофимов А. А. Предварительная обработка сигнала при распознавании голосовых команд методом улучшенной полной множественной декомпозиции на эмпирические моды // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль, 2022. № 3. С. 56–61.
3. Рашка С. Python и машинное обучение. М. : ДМК Пресс, 2017. 418 с.
4. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвиль А. Глубокое обучение. М. : ДМК Пресс, 2018. 652 с.
5. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. СПб. : Питер, 2018. 400 с.

ВЫСОКОКОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ И ИОНИЗИРУЮЩИХ СРЕД

Егор Алексеевич Оськин¹, Алексей Валерьевич Прыщак²,
Максим Сергеевич Гуськов³

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

В настоящее время в нашей стране существует актуальный вопрос, связанный с хранением (захоронением) радиоактивных отходов (РАО). Основными источниками РАО являются ядерный топливный цикл (ЯТЦ) атомных электростанций, деятельность различных научно-исследовательских центров и хозяйственной деятельности. Особенностью данного вида отходов является наличие в его составе делящихся материалов, которые наносят непоправимый ущерб жизни и здоровью человека, окружающей природной среде и экологической безопасности [1]. На данный момент для хранения используют в первую очередь нержавеющие стали аустенитного класса (марки 10X18H12T, 12X18H10T, 08X16H9M2, 10X14AG15, 02X8H22C6 [ГОСТ]) и их иностранные аналоги *AISI* 304, *AISI* 321, *ASTM* 321 (США), X10CrNiTi18-9 (Германия), *SUS* 321, *SUS* 321 ТК (Япония), 321S51 (Англия) и ВЧШГ аустенитной матрицы (марки Нирезист, Д2, Д2В, Д2С, Номаг) [2]. Ресурсы работы емкостей из таких материалов составляет до 70 лет и 90 лет соответственно. Это приводит к необходимости с указанной периодичностью, вместо имеющихся емкостей создавать новые, перемещая в них отходы, а отработавший ресурс металлы подвергать утилизации. По этой причине РАО необходимо гарантированно упаковывать в емкости, обеспечивающие коррозионную стойкость и защиту от ионизирующего излучения на длительный срок без необходимости их извлечения и проведения переконсервации с возможностью приповерхностного хранения. Предлагаемая технология позволяет изготавливать контейнеры для хранения РАО со свойствами, увеличивающие срок захоронения от 500 лет и более.

Конструкция СММ и механизм действия ВП как ключевого условия противостояния агрессивным средам

На рис. 1 представлена схема агрессивного и ионизирующего воздействия сред на архитектуру многослойного композиционного материала.

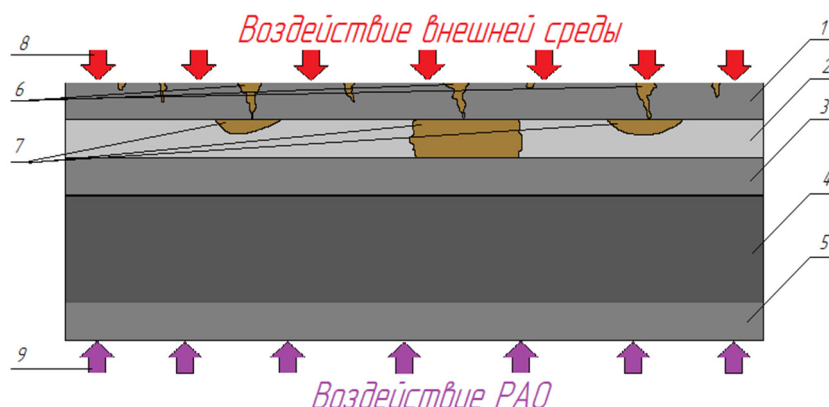


Рис. 1. Принципиальная схема воздействия сред на композит: 1 – наружный слой с высоким ЭХП; 2 – внутренний протектор с низким ЭХП; 3 – промежуточный слой с высоким ЭХП; 4 – прочностной слой; 5 – внутренний слой с высоким ЭХП; 6 – сквозные питтинги наружного слоя; 7 – линзы коррозии в протекторе; 8 – направление действия внешней среды; 9 – направление действия внутренней среды

Наружный слой 1 представляет собой сталь с положительным электрохимическим потенциалом. В качестве примера берется сталь 12X18H10T, стойкая к коррозии при нормальных условиях. Однако, при производстве листового металла имеет место наличие дефектов (как внутренних, так и внешних), а также наличие вредных примесей (серы, фосфора и пр.), что приводит к питтинговой коррозии в наружном слое. Питтинги существенно сокращают ресурс работы материала, так как являются концентраторами механических напряжений [3]. Если же используется СММ с ВП, то, в случае сквозного поражения наружного слоя питтингом и дохождения его до внутреннего протектора 2, представляющего собой сталь с низким ЭХП (прим. 09Г2С), процесс коррозии прекращается в радиусе, равном половине расстояния до другого сквозного питтинга. За счет образования гальванопар коррозионные процессы меняют свой вектор действия при переходе между слоев. На данном этапе питтинговая коррозия переходит в поверхностную [4]. Как известно, при нормальных условиях поверхностная коррозия гораздо быстрее питтинговой, однако при этом коррелирует с площадью пятна контакта с агрессивной средой. Принимая во внимание факт того, что диаметр питтинга в среднем составляет 300 – 350 микрон, делается вывод, что разрушение протектора происходит крайне медленно в виду его малой величины. Поражение следующего же слоя 3 происходит только в тот момент, когда образуются линзы 7 диаметром в несколько сантиметров в протекторном слое. Конструкция материала может быть изменена в пользу увеличения числа протекторов. Это позволит добиться увеличения коррозионностойкости не в 6 раз, как в предложенной конструкции, включающей лишь один ВП, а в 23 и более раз (в зависимости от структуры металлического композита).

Компонент 4 представляет собой высокопрочный чугун аустенитного класса (с шаровидным графитом, далее – ВЧШГ) и служит прочностным элементом предлагаемой конструкции. Элемент конструкции 5 исполняет роль изолятора ВЧШГ от прямого ионизирующего излучения.

Такая архитектура материала позволяет добиться себестоимости конечного продукта, сопоставимой со сталями аустенитного класса, однако по коррозионностойкости быть наряду с молибденом, палладием, хастеллоем, никелем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розен А. Е., Хорин А. В., Прыщак А. В. [и др.]. Новые материалы высокой коррозионной стойкости для объектов хранения радиоактивных отходов // Современные проблемы материаловедения : сб. науч. тр. II Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию ЛГТУ. Липецк, 2021. С. 112–115.
2. Розен А. Е., Хорин А. В., Оськин Е. А. [и др.]. Гибридная технология производства материала, стойкого к коррозионному и ионизирующему излучению // Прогрессивные литейные технологии : тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. В. Д. Белова, А. В. Колтыгина. М., 2022. С. 352–358.
3. Таранцева К. Р. Модели и методы прогноза питтинговой коррозии // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2010. Т. 46, № 1. С. 98–106.
4. Rozen A. E., Reformatskaya I. I., Kuznetsov E. V. [et al.]. Corrosion resistance of multilayer expoclad metals // Explosive production of new materials: science, technology, business, and innovations : X International Symposium on Explosive Production of New Materials: collection of abstracts. Moscow, 2010. С. 63.

МЕТОД ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

**Михаил Михайлович Морозов¹, Александр Сергеевич Пальков²,
Алексей Анатольевич Трофимов³**

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение

Существующие навигационные системы все чаще используются водителями транспортных средств и, в первую очередь, это связано с тем, что они позволяют значительно быстрее принимать правильные решения. Как известно, время принятия решения, особенно в сложных дорожных условиях и на высокой скорости, напрямую связаны с безопасностью [1].

В настоящее время в мире основные используемые для позиционирования транспортных средств спутниковые технологии навигации (GPS, ГЛОНАСС и т.д.). Данные системы имеют ряд своих недостатков таких как: высокая стоимость создания спутниковой группировки и ее обслуживания, требующая постоянной замены ее компонентов; высокая стоимость создания наземных станций управления и их обслуживания; сложность архитектуры и высокие требования к вычислительной мощности используемого оборудования; относительно низкая точность позиционирования, в первую очередь, быстро движущихся транспортных средств из-за задержки обработки данных о принимаемых со спутника сигналах, которые затем обрабатываются в наземном центре и передаются на бортовой компьютер транспортного средства (особенно это касается сетей 3G); поиск спутниковых сигналов и синхронизация занимают довольно много времени, особенно если пользователь находится в окружении железобетонных многоэтажек или находится в туннеле; зависимость от погодных условий, условий окружающей среды в плане техногенных и естественных электромагнитных помех, солнечной активности, а также прямой видимости отслеживаемого объекта [2].

Методы

Предлагаемое решение направлено на обеспечение возможности определения местоположения транспортного средства, оснащенного радаром, считывающим данные с RFID-меток, расположенных на дорожных знаках, светофорах, фонарных столбах, деревьях, зданиях и сооружениях, а также других строительных сооружениях и объектах неживой природы, где такие метки могут быть установлены [3]. Координаты RFID-меток задаются заранее, например, путем их однократного присвоения с помощью какой-либо известной системы глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) или путем присвоения координат, связанных только с уникальным положением меток относительно перекрестков и развилки и поворотов дорог, в том числе не официально показаны на картах.

Позиционирование обеспечивается установленными на вышеуказанных объектах RFID-метками [4] с заданными их координатами и автомобилями, оборудованными радаром, считывающими данные с меток и передающими их на электронную карту местности, созданную заранее на основе спутниковых снимков, содержащих координаты всех тегов местности (город, деревня, направление, дорога, маршрут). Данные, полученные радиолокатором, сравниваются с данными, имеющимися на карте и/или в базе данных. После этого выводится изображение с отметкой местоположения в определенной точке улицы, дороги, маршрута, направления. Прокладка маршрута по установленным координатам осуществляется путем соединения ближайших меток от точки А, где находится пользователь, к точке Б, выбранной на карте, определяется ближайшим объектом

с меткой, включая метки между ними по ходу движения дороги. Координаты тегов присваиваются относительно установленных границ города или другого населенного пункта, района, области, административной единицы или государства путем разработки координатной сетки, где самая южная точка границы имеет нулевое значение числового индекса (номера) положения обозначается одной или несколькими буквами алфавита, а самая западная точка – положения, обозначаемого другой буквой или буквами алфавита. Координаты других тегов, следующих за тегом(ами) с нулевым индексом для любой из двух позиций, получаются путем прибавления, например, 1 к индексам позиции тега.

Координаты тегов учитывают запрещающие и обязательные знаки, расположенные на перекрестках, поворотах и развилках дорог, непосредственно в местах их установки, а также на примыкающих перекрестках, съездах и развилках дорог. Построение маршрута осуществляется путем соединения ближайших меток (меток) от точки А, где находится пользователь, к ближайшей к точке Б метке (меткам) через все метки, расположенные между ними, с последующим выбором минимального расстояния. Таким образом, метки выступают в роли геодезических точек, учитывающих информацию о дорожных знаках и возможных (разрешенных) направлениях движения.

Навигация обеспечивается в зоне, содержащей RFID-метки, где обеспечивается высокочастотная и другая радиосвязь в направлении от движущегося или неподвижного транспортного средства, пешехода или другого участника дорожного движения к RFID-метке при заданных произвольных путях движения пользователя.

В отличие от методов и систем глобального позиционирования, предлагаемый вариант позиционирования работает в преактивном режиме: например, он уведомляет водителя о событии (перекрестке, повороте, развилке, тупике, встречном движении и т.д.) за некоторое время до его наступления, поэтому водитель всегда успевает определиться с дальнейшим маршрутом. Предлагаемый метод имеет значительно более высокую точность позиционирования, чем любая глобальная навигационная система, так как координаты метки, независимо от местоположения метки, задаются относительно перекрестка, ската или развилки дороги, маршрута, направления и других объектов, указанных выше. Во избежание наложения на какой-либо объект, поглощающий или отражающий радиоволны, теги, соответствующие координате области, могут дублироваться на нескольких близлежащих объектах. Каждый тег имеет характеристику наследования информации от соседних тегов, например информации о дорожных знаках. Другие события, такие как электромагнитные помехи в атмосфере, погодные условия и т.д., не повлияют на точность определения местоположения пользователя.

В целом идея использования не спутниковой навигационной системой позволяет заблаговременно оповестить участника движения о предстоящем событии – достижении определенной точки маршрута. Более высокая точность позиционирования производится за счет относительной привязки к объектам и дублирования. За счет тегов, другие объекты и события не влияют на объект при определении его местонахождения. Не менее важным является, что данный метод практически не загрязняет окружающую среду электромагнитным излучением, так как радары могут работать в импульсном режиме с паузой в одну или несколько секунд.

Заключение

В результате проведенной работы были рассмотрены недостатки имеющихся методов позиционирования транспортных средств.

Выявлено, что использование не спутниковой навигационной системы значительно повышает безопасность движения за счет упреждающего позиционирования транспортных средств относительно объектов на дороге и вблизи нее с точностью, определяемой плотностью RFID-меток на местности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Урваев И. Н. Навигация мобильного робота на основе методов лазерной дальнометрии // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 1. С. 44–51.
2. Керимов М., Сафиуллин Р., Марусин А., Марусин А. Оценка функциональной эффективности автоматизированной системы контроля дорожного движения // Transportation Research Procedia systems. 2017. Vol. 20. P. 288–294.
3. Хименес Ф., Наранхо Дж. Э., Анайя Дж. Дж. [и др.]. Усовершенствованная система помощи водителю для повышения безопасности и эффективности дорожных условий // Сборник транспортных исследований. 2016. № 14. С. 2245–2254.
4. URL: <https://penza.1bit.ru/blog/rfid-metki-cto-eto-takoe-kak-rabotaet-vidy-i-tipy-identifikatsii/> (дата обращения: 02.12.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НОВОГО МНОГОСЛОЙНОГО КОРРОЗИОННО-СТОЙКОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ 12X18H10T-M1

**Александр Владимирович Хорин¹, Виктор Михайлович Батрашов²,
Дмитрий Анатольевич Веревкин³, Полина Ильинична Захарова⁴**

^{1,2,3,4}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Работа выполнена в рамках конкурса «Ректорские гранты» Пензенского государственного университета.

Разработка новых композиционных материалов является неотъемлемой частью прогресса в сфере техники и конструкций. Сложность задачи заключается в создании материалов, которые обладают уникальными свойствами, недоступными для традиционных материалов [1]. Именно композиты способны объединить в себе несколько характеристик и предоставить новые возможности для разработки современной техники и улучшения уже существующих разработок [2].

Сегодняшний мир сталкивается с проблемой разрушения металлов вследствие коррозии. Влияние коррозии затрагивает как экономическую, так и научно-техническую сферу [3]. Однако, одним из возможных решений этой проблемы является разработка новых композиционных материалов. Такие материалы способны сопротивляться коррозии в различных средах и обеспечить долговечность и надежность техники.

Основными параметрами, определяющими стойкость композиционных материалов к коррозии, являются их структура и состав. Композиты состоят из двух или более компонентов, обладающих разными свойствами. Это позволяет создавать материалы с уникальными комбинациями механических, химических и физических свойств. В результате, композиты обладают высокой стойкостью к коррозии [4], что делает их идеальным выбором для различных промышленных и научных задач.

Таким образом, разработка новых композиционных материалов является важным направлением в современной технике. Они не только расширяют возможности для создания новых конструкций и усовершенствования существующих технологий, но и способствуют решению проблемы коррозии металлов. Продолжение исследований и разработок в этой области позволит создать еще более прочные и долговечные материалы, открывая новые горизонты в инженерии и технике.

Предлагаемым решением проблемы является разработка нового металлического композиционного материала системы 12X18H10T-M1, состоящего из трех основных слоев. Первый и третий слои представляют собой нержавеющую сталь аустенитного класса, которая обладает высокой коррозионной стойкостью. Второй слой состоит

из медного сплава, который повышает электропроводность материала и улучшает его теплопроводность.

Схематическое изображение металлического композиционного материала представлено на рис. 1.

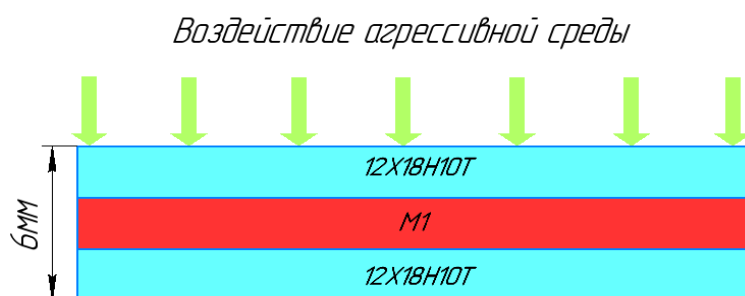


Рис. 1. Схема металлического композиционного материала 12X18H10T-M

Наиболее оптимальным и эффективным методом получения рассматриваемого композита является сварка взрывом [5], которая позволяет достичь максимальной прочности соединений между слоями. Принципиальная схема этого метода представлена на рис. 2.

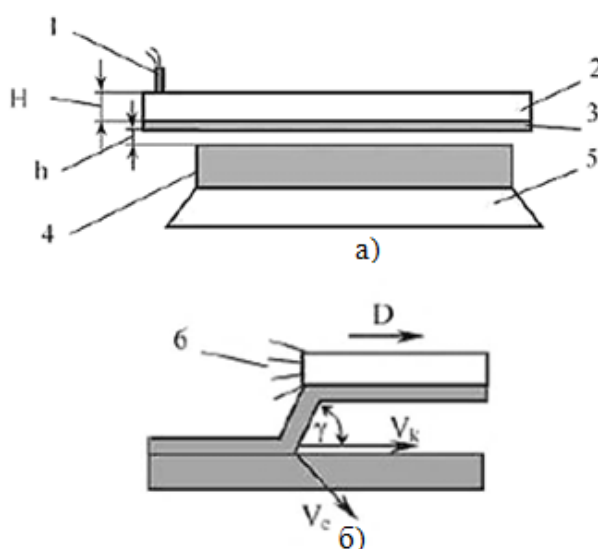


Рис. 2. Основная схема сварки взрывом:

a – исходное состояние; *б* – процесс детонации;

1 – детонатор; 2 – заряд взрывчатого вещества; 3 – метаемая пластина;

4 – основная пластина; 5 – опора

Детонация взрывчатого вещества вызывает соударение метаемой пластины с заготовкой. В результате высокой скорости соударения и давления в зоне контакта, поверхности очищаются и образуется прочное сварное соединение. Обычно соединение имеет волнообразную форму, однако иногда встречаются соединения без волнообразования.

Важно отметить, что из-за высокой скорости процесса объемная диффузия не успевает проходить, несмотря на нагрев. Это означает, что объемное химическое взаимодействие между металлами не происходит, и не образуются интерметаллиды. Такая особенность сварки взрывом делает ее подходящей для соединения различных типов металлов и сплавов [6].

В результате, сварка взрывом является эффективным способом создания прочных сварных соединений между разнородными материалами. Благодаря своей универсальности, сварка взрывом находит широкое применение в различных отраслях промышленности [2].

Для исследования внутренней структуры материала системы 12X18H10T-M1 был использован метод микроструктурного анализа [7]. Данный метод представляет собой анализ металлов и сплавов с использованием микроскопов с металлографической оптикой и увеличением от 50 до 2000 раз.

Микроструктурный анализ обладает рядом преимуществ и позволяет провести следующие исследования:

- 1 Изучение формы, величины и взаимного расположения зерен, которые составляют металлы и сплавы. Это позволяет получить более полное представление о внутренней структуре материала и определить его механические свойства.

- 2 Определение структурно-фазового состава сплавов. Это важно для понимания свойств материалов и выбора оптимальной технологии их обработки.

- 3 Выявление неметаллических включений и внутренних дефектов в кристаллической структуре сплавов. Это позволяет оценить качество материала и определить причины его возможных дефектов.

- 4 Исследование изменений внутренней структуры материала под влиянием различных факторов, таких как термическая и химико-термическая обработка, обработка давлением, сварка и другие процессы.

Микроструктурный анализ играет важную роль в определении качества и свойств материалов, а также в разработке и усовершенствовании технологий их производства и обработки. Этот метод является неотъемлемой частью современной металлургии и материаловедения.

Для успешного проведения микроструктурного анализа необходима качественная подготовка микрошлифа. Микрошлиф – это образец, специально подготовленный для исследования на металлографическом микроскопе.

Микроструктурные исследования образцов проводились с помощью микроскопа марки Альтами МЕТ 6С. На фотографиях, представленных на рис. 3, можно увидеть полученную структуру более подробно. Эти результаты являются важным вкладом в микроструктурные исследования и помогут лучше понять поведение материала системы 12X18H10T-M1.

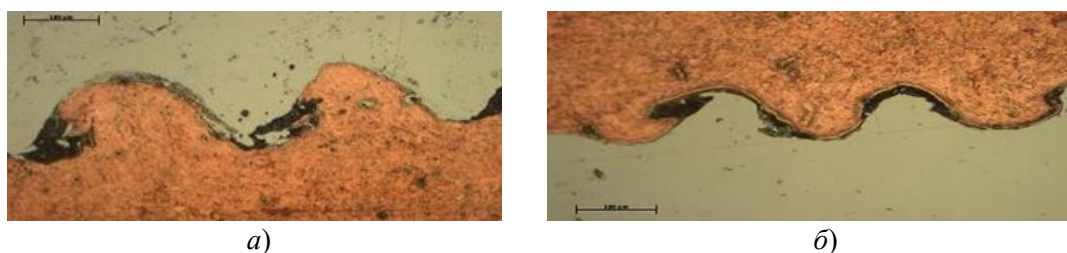


Рис. 3. Граница соединения между слоями:
а – между 12X18H10T и M1; б – между M1 и 12X18H10T

В результате исследования было выявлено, что границы между всеми слоями в материале системы 12X18H10T-M1 имеют волнообразную структуру с заметными различиями в геометрии волн. Особенно отчетливо видно перемешанные слои меди и нержавеющей стали. Интересно, что на гребнях волн наблюдается пластическое течение меди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лим Е. В., Самойленко В. В., Шарапкин Д. С. Принципы создания новых материалов с позиции материаловедения и технологического развития // XVI Международная научно-техническая Уральская школа-семинар металлосведов-молодых ученых (г. Екатеринбург, 7–11 декабря 2015 г.) : сб. науч. тр. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. Ч. 2. С. 284–286.
2. Первухин Л. Б., Розен А. Е., Крюков Д. Б. [и др.]. Комплексные технологии получения композиционных материалов нового поколения // Металлургия: Технологии, управление, инновации, качество : сб. тр. конф. Новокузнецк : Изд-во Сибир. гос. ун-та, 2014.
3. Иванов М. М. Использование композитов для защиты от коррозионного воздействия // Инновационная наука. 2017. № 12. С. 38–40.
4. Перельгин Ю. П. [и др.]. Коррозия и защита металлов от коррозии : учеб. пособие для студентов технических специальностей. 2-е изд., доп. Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. 88 с.
5. Лысак В. И., Кузьмин С. В. Сварка взрывом : монография. М. : Машиностроение, 2005. 543 с.
6. Rozen A. E., Reformatskaya I. I., Kuznetsov E. V. [et al.]. Corrosion Resistance of Multilayer Explocad Metals // Explosive production of new materials: science, technology, business, and innovations : X International Symposium on Explosive Production of New Materials: collection of abstracts, 2010. P. 63.
7. Лось И. С., Перельгин Ю. П., Первухин Л. Б., Усатый С. Г., Хорин А. В. Исследование структуры и свойств многослойного коррозионностойкого материала, полученного сваркой взрывом. Волгоград : Изд-во Известия Волгоградского гос. техн. ун-та, 2010. С. 93–96.

РАЗРАБОТКА АВТОМОБИЛЬНОГО РЕГУЛИРУЕМОГО АМОРТИЗАТОРА С МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Максим Владимирович Катыков¹, Василий Николаевич Ашанин²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Использование в современных автомобилях регулируемых амортизаторов – не новшество. В настоящее время они производятся целым рядом известных зарубежных фирм: *Delphi*, *Bilstein*, *Kayaba*, *Koni*. В основном эти компании разрабатывают системы управления на основе пневматических и гидравлических амортизаторов, которые в свою очередь имеют сложную конструкцию, основанную на электромагнитных клапанах с большим количеством дополнительных элементов, что увеличивает их стоимость, также такие системы не способны во время движения плавно изменять ход автомобиля, а работают лишь в нескольких режимах, в зависимости от того, по какому дорожному полотну передвигается [1]. Разработанная система управления амортизатора с магнитореологической жидкостью лишена части недостатков, описанных в литературе систем [2, 3].

В Российской Федерации из-за отсутствия производства магнитных жидкостей с требуемыми параметрами это направление развития автомобильных амортизаторов пока не получило широкого распространения. Однако, в силу определенных достоинств таких амортизаторов и налаживание выпуска магнитных жидкостей на отечественных заводах делают исследования и разработки в этой области весьма актуальными. В частности, известна работа отечественных инженеров [3], в которой электромагнитная система управления амортизатором с магнитной жидкостью реализована в поршне. Основным недостатком данного технического решения является локализация изменения магнитной вязкости жидкости только вблизи поршня, что ограничивает быстроедействие системы и условия демпфирования амортизатора.

В работе предлагается конструкция амортизатора для отечественного автомобиля класса Lada Granta, представленная на рис. 1, в котором электромагнитная система

управления вязкостью магнитной жидкости представлена в виде статорной обмотки по всей длине цилиндра амортизатора.

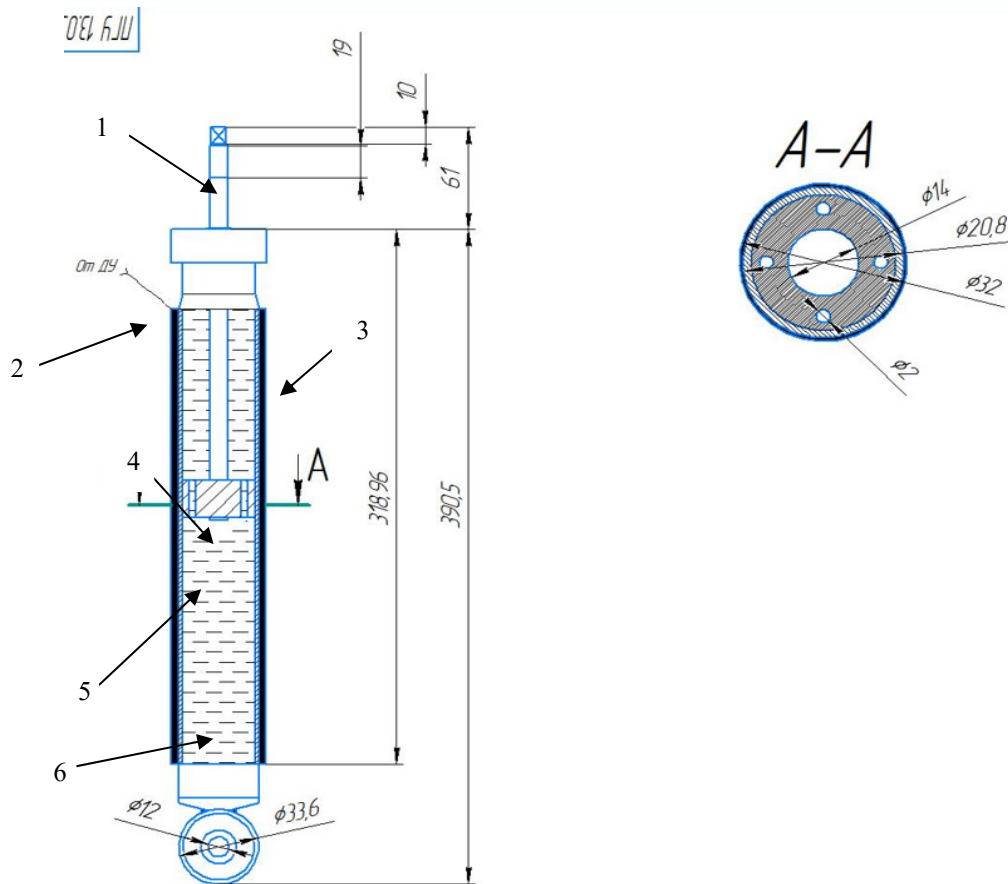


Рис. 1 – Конструкция амортизатора: 1 – шток; 2 – коммутационные провода обмотки управления; 3 – статорная обмотка амортизатора; 4 – поршень; 5 – калибровочные отверстия, для прохождения магнитореологической жидкости; 6 – цилиндр, заполненный магнитореологической жидкостью

Расчеты производились по трем режимам работы, которые обозначены следующим образом:

1. Условия оптимального демпфирования при частичной нагрузке;
2. Условия оптимального демпфирования при полной нагрузке;
3. Спортивный режим – условия оптимального демпфирования в полтора раза выше, чем в первом случае.

Расчеты амортизатора необходимы, чтобы построить график хода сжатия и отбоя, который в дальнейшем используется для выбора магнитореологической жидкости.

Для расчета усилий сжатия и отбоя произведен расчет:

- коэффициентов сопротивления амортизаторов и демпфирования при сжатии и отбое,
- хода сжатия и отбоя.

В результате проведенных вычислений построен график хода сжатия и отбоя амортизатора, представленный на рис. 1.

Из-за отсутствия производства магнитореологических жидкостей на территории РФ было принято решение использовать магнитореологическую жидкость с известными параметрами зарубежного производства MRF-140BC [4]. Зависимость предела

текучести от напряженности магнитного поля для выбранной жидкости и основные ее параметры представлены на рис. 2. Рассчитанное напряжение сдвига будет считаться пределом текучести жидкости для данного режима работы.

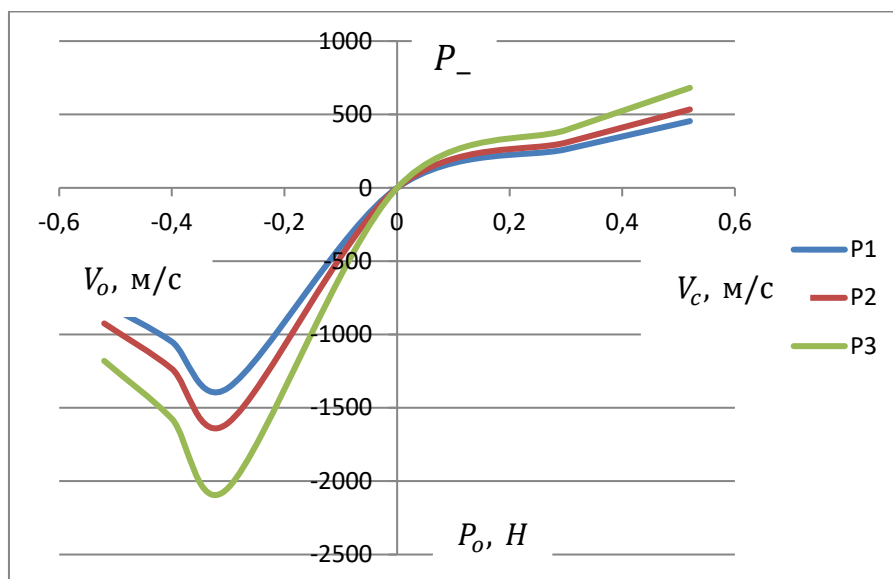


Рис. 2. График хода сжатия и отбоя амортизатора при различных режимах работы: P1 – при частичной нагрузке; P2 – при полной нагрузке; P3 – при спортивном режиме

Yield Stress vs. Magnetic Field Strength

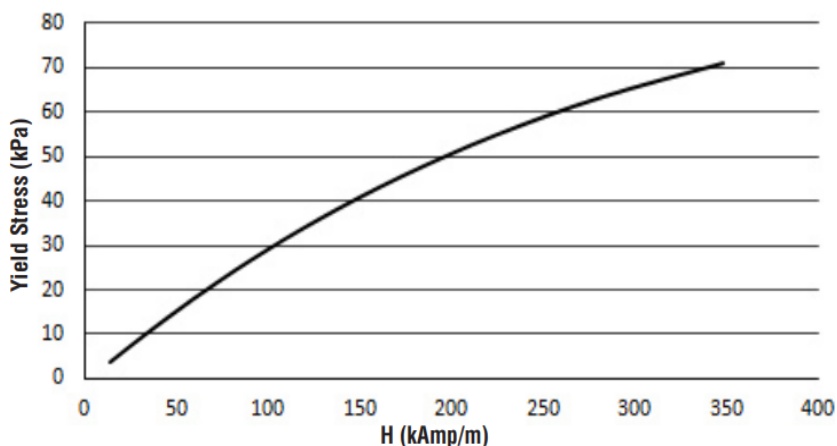


Рис. 2. Зависимость предела текучести от напряженности магнитного поля для жидкости MRF-140BC при учете ее параметров: вязкости 0,114 Па·с, плотности 3,75 г/см³, содержания твердых веществ 86 %, рабочей температуры (–40÷ +140) °С

Для выбранной магнитореологической жидкости, при различных режимах работы расчетная сила тока определялась по формуле

$$I_{max} = \frac{H \cdot 2R}{1000},$$

где H – напряженность магнитного поля; R – наружный радиус цилиндра амортизатора, которая составила:

1. Режим «Бездорожье» $I_{max} = 6$ А,
2. Режим «Город» $I_{max} = 8,32$ А,
3. Режим «Трасса» $I_{max} = 11,2$ А.

У разработанной системы есть один существенный недостаток – большая потребляемая мощность (130 Вт на один амортизатор), если при автоматическом режиме работы амортизаторов с магнитной жидкостью большая мощность потребляется в малые промежутки времени и ток имеет импульсное значение, то при ручном управлении амортизаторами с магнитной жидкостью при самом максимальном токе в 11 А, система будет затрачивать такую энергию постоянно. Эти недостатки возможно устранить следующим образом:

1. Разбить обмотку на секции и включать в работу одну секцию, в которой в данный момент находится поршень амортизатора, что позволит снизить значения тока, протекающего по обмотке амортизатора, поскольку снизится и напряжения сдвига, действующего на жидкость;

2. Уменьшить диаметр амортизатора, поскольку сила тока зависит от напряженности магнитного поля и диаметра амортизатора.

Разработанная система отвечает техническим требованиям к амортизаторам для семейства автомобилей Lada Granta, однако существует необходимость в проведении натурных испытаний для проведения корректировок конструкции и выбора магнитной жидкости, с целью уменьшения тока потребления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев Е. С. [и др.]. Магнитореологические жидкости: технологии создания и применение : монография / под ред. А. С. Плехова. Н. Новгород, 2017. 94 с.
2. Прикладные свойства магнитореологических жидкостей : учеб. пособие / Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа : УГАТУ, 2021. 118 с.
3. Пат. 0002496035 Российская Федерация, МПК F16F 9/53(2006.01), F16F 15/03 (2006.01). Электромагнитный амортизатор / Войкин В. В.; заявитель Войкин В. В. № 2012107044/11 ; заявл. 27.02.2012 ; опубл. 20.10.2013. 11 с.
4. URL: https://lordfulfillment.com/pdf/44/DS7012_MRF-140CGMRFluid.pdf (дата обращения: 01.10.2023).

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Егор Алексеевич Мошаров¹, Александр Владимирович Хорин²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение

Керамика – это материал, изготовленный путем обжига глины или чистых твердых оксидов при высоких температурах. Благодаря своим свойствам широко используется в различных отраслях промышленности и имеет множество видов. В частности керамика на основе оксида алюминия.

Свойства и виды оксида алюминия

Оксид алюминия в обычном представлении – это вещество белого цвета имеющие высокую температуру плавления и спекания, а также крайне высокую твердость. Кроме того оксид алюминия встречается в природе представлен разными формами.

α – оксид алюминия имеет тригональную форму, представляет собой прозрачный кристалл. В зависимости от содержащихся примесей выделяют красный корунд – рубин и синий корунд – сапфир.

β – оксид алюминия имеет гексагональную кристаллическую решетку. Вещество, иногда описываемое как $\beta - Al_2O_3$, на самом деле не является чистым оксидом алюминия,

а представляет собой ряд алюминатов щелочных и щелочноземельных металлов, отличающихся весьма высоким содержанием окиси алюминия.

Содержание щелочных и щелочноземельных оксидов может составлять до 8–10 %. При нагревании до 1600–1700 °С β -глинозем разлагается на α – Al_2O_3 с выделением соответствующего оксида в газообразном состоянии. Присутствие β -глинозема в обожженном корундовом материале снижает механическую прочность и особенно его электрофизические свойства и поэтому является нежелательным.

Характеристики оксида алюминия

Керамика на основе оксида алюминия имеет высокую прочность на изгиб (до 450 МПа), высокую твердость (до 18 ГПа), низкий вес, инертность благодаря амфотерному алюминию, устойчивость к перегреву (низкую склонность к расширению при высоких температурах), высокое электрическое сопротивление, и низкую стоимость поскольку часто является побочным продуктом металлургического производства.

Но также у керамики на основе оксида алюминия есть и отрицательные стороны, такие как низкая устойчивость к ударным нагрузкам, высокая температура спекания, долгий период обжига.

Для устранения этих недостатков в керамику добавляют различные добавки. Смесь Оксид марганца и титана уменьшают температуру спекания, оксид циркония повышает прочность, карбид кремния повышает устойчивость к ударным нагрузкам.

Для изготовления изделий из оксида алюминия применяют метод спекания смеси мелкодисперсного порошка содержание оксида алюминия в котором варьируется от 40 до 98 %.

Метод изготовления изделий из оксида алюминия

Для спекания керамики состоящей в основном из оксида алюминия предварительно подготавливают сырье. Порошки смешивают в определенных пропорциях отправляют измельчаться в мельницу пока их размер не будет равен 1–2 мкм. для достижения такой мелкой структуры используют разные методы помола шихты из которых самый эффективный это метод мокрого помола. Затем прокаливают при температуре 160 °С, в течении часа для извлечения химически и физически связанной воды. После прокалики подготавливается пресс-форма. Форму устанавливают на пресс смазывают и засыпают во внутрь состав, затем происходит прессование и придание формы будущему изделию. Получившиеся заготовки отправляют печь при температуре 1500–1800 °С (в зависимости от состава) на 6–8 ч. При необходимости получения более высокого результата керамический состав может подвергаться обжигу от 1 до 4 раз. Это необходимо для придания нужных свойств оксиду алюминия.

Изделия изготавливаемые из оксида алюминия

Оксид алюминия имеет большие перспективы в промышленном изготовлении. Благодаря низкой пористости можно изготавливать изделия сложной формы и больших габаритов. Из алюминиевой керамики производят изделия различного назначения такие как: изоляторы, средства защиты, режущий инструмент, абразивные порошки, части протезов, подшипники скольжения. Также для изготовления кристаллов лазера применяют драгоценные породы оксида алюминия.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Андрей Анатольевич Максов¹, Павел Евгеньевич Голубков²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Финансирование: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект «Фундаментальные основы цифрового двойника технологического процесса формирования оксидных покрытий с заданными свойствами методом микродугового оксидирования», № 123091800009-1.

Важным направлением развития микродугового оксидирования (МДО) является разработка нового технологического и исследовательского оборудования [1–4]. Однако, на данный момент, нет единого конструкторского стандарта разработки установок. Проведенное исследование [5] показало, что существует более 25 тысяч возможных вариантов реализации такого оборудования. Несмотря на это, на практике уже сложилась общая структура, элементы которой необходимы для работы установки МДО. Для минимально работоспособной установки достаточно наличие следующих структурных элементов:

- источник технологического тока;
- гальваническую ванну (ячейку) с защитным ограждением;
- систему управления.

Также в состав установки МДО могут входить измерительные преобразователи различных физических величин (чаще всего тока и напряжения), система охлаждения и перемешивания электролита и др.

Источник технологического тока является ключевым элементом любой установки микродугового оксидирования. Он обеспечивает импульсы высокого напряжения, необходимые для создания оксидных покрытий на обрабатываемых деталях, а его параметры напрямую влияют на качество покрытий. Эффективность источника тока также имеет решающее значение для промышленного производства, поскольку затраты энергии на нанесение покрытия влияют на стоимость конечного продукта.

В настоящее время КПД МДО-установок на основе трансформаторов и конденсаторов составляет от 20 до 40 %, что является экономически невыгодным. Однако, переход на использование импульсных источников технологического тока может значительно повысить данный показатель, до уровня более 70 % [6].

Далее рассмотрим существующие на данный момент российские и зарубежные установки МДО с точки зрения возможностей источника технологического тока и качества проводимых измерений.

На кафедре «Сварочное и литейное производство» Пензенского государственного университета [7] была разработана установка МДО, работающая на напряжении 380 В переменного тока промышленной частоты 50 Гц.

Данное устройство позволяет не только измерить ток и напряжение в гальванической ячейке, но и произвести точную регулировку силы тока с погрешностью не более 5%, но имеет такие недостатки, как низкий КПД, низкая точность измерений и отсутствие автоматизации.

Тиристорно-емкостные установки МДО «Corund-M1», «Boy» и «ARCCOR» разработаны коллективом научной школы «Физика и химия процессов на межфазных границах при высоком напряжении и сильноточном импульсном воздействии» (ИФПМ СО РАН, Томск) под руководством А. И. Мамаев [8–10]. Эти установки используются как в научных исследованиях, так и на производстве.

Установка «Corund-M1» предназначена для научных исследований и отработки технологии. Установки «Boy» и «ARCCOR» обеспечивают проведение процесса МДО в импульсном анодно-катодном режиме с фиксированной частотой импульсов (60 Гц) высокого напряжения, позволяют измерять ток и напряжение на образце. Устройства отличаются повышенной мощностью и используются на производстве для нанесения микродуговых оксидных покрытий на детали из легких сплавов площадью до 1 м².

Недостатком системы является невозможность переключения токового режима «на лету», т.е. при включенном источнике технологического тока.

Установки «Boy» и «ARCCOR» имеют аналогичную структуру, но отличаются повышенной мощностью.

Научным коллективом А. И. Мамаева разработан также информационно-измерительный комплекс микродугового оксидирования. Система оснащена источником технологического тока, построенным по модифицированной двухтактной транзисторной схеме, что позволяет получать на выходе биполярные прямоугольные импульсы технологического тока с регулируемой амплитудой напряжения (0...600 В), частотой (0...10000 Гц), длительностью импульсов (10...2000 мкс) с рабочим током до 120 А.

Эта информационно-измерительная система позволяет измерять мгновенные значения в широком диапазоне поляризационных напряжений и токов в трехэлектродном гальваническом элементе с высоким разрешением. Проводимость электролита измеряется в диапазоне 0,1–10 см/м между измерительным электродом и образцом с точностью, как правило, не превышающей 2,5 %, что гарантирует правильную работу измерительной системы. Кроме того, комплект приборов обеспечивает возможность измерения толщины покрытия и пористости с использованием эквивалентной электрической схемы.

Недостатком устройства является то, что источники постоянного напряжения для выходного транзисторного каскада построены с использованием устаревших схемотехнических решений и элементной базы (громоздкие трансформаторы, КПД которых невысок), однако сам транзисторный каскад в принципе может обеспечить довольно высокий КПД.

Установки МДО фирмы «Keronite Ltd.» (США). Фирма «Keronite» является признанным мировым лидером в области микродугового оксидирования и также имеет собственный модельный ряд технологического оборудования. В частности, установка плазменно-электролитического оксидирования КТ20-50 «Keronator» обеспечивает получение МДО-покрытий толщиной до 120 мкм с микротвердостью 1400-1700 HV. Устройство мощностью 10 кВт предназначено для научных исследований, позволяет осуществлять МДО-обработку алюминиевых сплавов синусоидальным током частотой 50 Гц в биполярном режиме. При этом амплитуда анодного (400–600 В) и катодного напряжения (100–200 В) регулируется для поддержания постоянной плотности тока 1,5 кА/м². Также имеется промышленная установка мощностью 100 кВт, которая позволяет наносить МДО-покрытия в импульсном биполярном режиме с регулируемой амплитудой напряжения и тока, частотой и скважностью импульсов [11, 12].

Фирмой «MILMAN THIN FILM SYSTEMS PVT. LTD.» (Индия) разработана установка «Plasma electrolytic power supply» для получения химически инертных жаростойких МДО-покрытий с высокой микротвердостью в анодно-катодном импульсном режиме. Устройство позволяет формировать импульсы технологического тока с рабочей частотой 10 кГц, регулируемой скважностью (от 10 до 90 %) с амплитудой напряжения до 800 В в гальваностатическом и потенциостатическом режимах (на выбор). Максимальная мощность установки составляет 50 кВт. Для удобства работы оператора устройство оснащено выносной сенсорной панелью управления [13].

Установки МДО фирмы «Plasma Technology Ltd.» (Китай) позволяют получать покрытия толщиной от 10 до 200 мкм со скоростью 30–150 мкм/ч при плотности тока 0,1–15 А/дм². Источник технологического тока работает в биполярном импульсном режиме (гальваностатическом, потенциостатическом, режиме постоянной мощности) со следующими параметрами:

- анодное напряжение: 100–800 В;
- катодное напряжение: 20–200 В;
- частота импульсов технологического тока: 30 Гц – 2 кГц;
- соотношение анодного и катодного токов, I_A/I_K : 1:1 – 15:1.

Коммутация технологического тока осуществляется IGBT-транзисторами.

Установки предназначены для промышленного применения, имеют высокую мощность (20–400 кВт), питаются от трехфазной сети 380 В 50/60 Гц [14].

Установка МДО фирмы «Aixcon PowerSystems GmbH» (Германия) отличается возможностью одновременной обработки двух образцов из легких сплавов, имеющих разную форму и площадь поверхности. В устройстве используется источник прямоугольных импульсов технологического тока, оснащенный контроллером параллельного режима, который распределяет ток между образцами в зависимости от требуемой их толщины. Полученные покрытия имеют структуру, соответствующую обычному МДО на синусоидальном токе, но формируются с удвоенной скоростью [15].

Таким образом, в результате анализа возможностей современного оборудования микродугового оксидирования, можно выделить следующее:

1. Для оборудования МДО необходимо предусмотреть измерительные каналы, которые способны измерять параметры процесса (например, ток и напряжение) и параметры формируемого покрытия.

2. Источники технического тока с полным диапазоном регулирования (в том числе амплитуды, частоты и рабочего цикла импульса) являются наиболее эффективными в своей работе. Система управления таких источников обеспечивает необходимые параметры для эффективной работы.

3. Для эффективной работы оборудования необходимо иметь систему автоматического управления, состоящую из аппаратных и программных компонентов. Такая система позволит:

- устанавливать нужные технические параметры тока;
- автоматически подбирать параметры для получения покрытий МДО с необходимыми свойствами;
- осуществлять программную обратную связь для контроля и корректировки процесса МДО в случае отклонений;
- строить и отображать технологические кривые, чтобы оператор мог контролировать процесс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Golubkov P. E., Pecherskaya E. A., Karpanin O. V. [et al.]. Automation of the micro-arc oxidation process // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 917 (9). P. 092021.
2. Artamonov D. V., Golubkov P. E., Pecherskaya E. A. [et al.]. Methods of applying the reliability theory for the analysis of micro-arc oxidation process // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1124 (8). P. 081014.
3. Голубков П. Е., Печерская Е. А., Мартынов А. В. Применение инструментов контроля качества для анализа процесса микродугового оксидирования // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : тез. докл. Третьей всерос. молодеж. науч. конф. Тамбов, 2018. С. 111–113.
4. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В. [и др.]. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 2 (28). С. 99–107.
5. Печейкина М. А., Раков Д. Л. Синтез системы управления технологическим процессом микродугового оксидирования // Технология машиностроения. 2018. № 6. С. 120–122.
6. Yerokhin A. L. Electrolytic plasma processing for surface modification and alternative to anodizing : presentation (USA, 2005, 15–17 March). The University of Sheffield Department of Engineering Materials, 2005.

7. Чуфистов О. Е. Разработка технологии микродугового оксидирования изделий из алюминиевых сплавов на основе исследования структуры и свойств получаемых покрытий : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01. Пенза, 1999. 195 с.
8. Мамаев А. И., Мамаева В. А., Борилов В. Н., Дороеева Т. И. Формирование наноструктурных неметаллических неорганических покрытий путем локализации высокоэнергетических потоков на границе раздела фаз : учеб. пособие. Томск : Изд-во Томск. ун-та, 2010. 360 с.
9. Борилов В. Н. Методы и средства измерений электрических параметров процесса формирования покрытий при импульсном энергетическом воздействии в растворах : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Томск : ТПУ, 2012. 34 с.
10. Екимова И. А. Работы по запуску оборудования : презентация // Круглый стол «Оборудование и технология для микродугового оксидирования на предприятиях ОПК» (организован АО «МАНЭЛ» в рамках Международного военно-технического форума «АРМИЯ-2022») (г. Кубинка, Московская обл., 15–21 августа 2022 г.).
11. Plasma electrolytic oxidation. URL: <https://www.tekniker.es/en/plasma-electrolytic-oxidation>
12. Официальный сайт фирмы «Keronite Ltd.». URL: <https://www.keronite.com/>
13. Bipolar Power Supply For Micro Arc Oxidation // Официальный сайт фирмы «MILMAN THIN FILM SYSTEMS PVT. LTD.» URL: <https://www.milmanthinfilms.com/bipolar-power-supply-for-micro/bipolar-power-supply-for-micro>
14. Micro-arc Oxidation / Plasma Electrolytic Oxidation System : сайт фирмы «Plasma Technology Ltd.». URL: <http://www.plasmatechnol.com/articleShow.asp?ArticleID=404>
15. Schmidt J. Von, Gerads L. Plasmachemische oxidation (PCO®) mit asymmetrischen elektroden // WOTech Technical Media. doi: 10.7395/2018/Schmidt5 URL: https://www.wotech-technical-media.de/womag/augabe/2018/06/14_schmidt_pco_06j2018/14_schmidt_pco_06j2018.php

ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ФОТОТОКА ОТ ПРИЛОЖЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ОТ ОСВЕЩЕННОСТИ

Елизавета Дмитриевна Шкурина

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Фотоэффект – явление, которое демонстрирует квантовую природу света: свет ведет себя как поток фотонов- квантов света с энергией $h\nu$. Одним из проявлений взаимодействия света с веществом является внешний фотоэлектрический эффект, при котором материал испускает электроны под воздействием света. Это явление было открыто Герцем в 1887 году и подробно исследовано А. Г. Стретовым в 1888 году.[2]

Исследования установили три закона фотоэлектрического эффекта:

1. Ток насыщения прямо пропорционален интенсивности света, падающего на поверхность тела.
2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света и не зависит от его интенсивности.
3. Если частота света меньше некоторой минимальной частоты, определенной для данного вещества, то фотоэффекта не происходит.

Интенсивность света напрямую зависит от количества фотонов, которые проходят через единицу площади поперечного сечения в течение определенного времени. Количество электронов, вылетающих с поверхности металла в единицу времени, пропорционально количеству с поверхности металла в единицу времени, пропорционально количеству фотонов, падающих на эту площадь. Таким образом, количество фотоэлементов, покидающих металл в единицу времени, прямо пропорционально интенсивности света, который попадает на металлическую поверхность [1].

Чтобы доказать зависимость величины фототока от приложенного напряжения и от освещенности, проводим исследование:

Собрав схему (рис. 1) и подключив в сеть источник питания, была выставлена лампа осветителя на расстоянии 6, 8 и 10 см. Измеряя потенциометром источника питания напряжение на фотоэлементе от 10 до 100 В, тем самым было определено значение фототока (табл. 1).

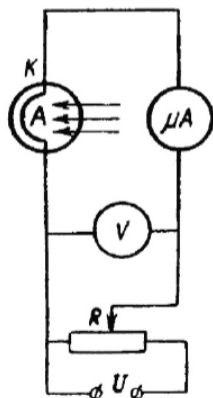


Рис. 1. Схема исследования фототока

Таблица 1

Значения фототока

Расстояние, см	Фототок, I, мА									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
6	21	32	43	56	64	68	74	75	77	77
8	19	29	38	42	46	50	51	52	52	53
10	19	24	28	32	33	34	34	34	35	36

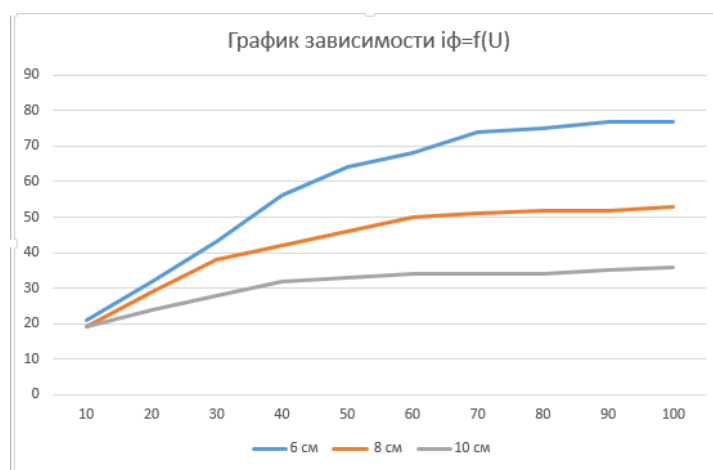


Рис. 2. График зависимости $i_\phi = f(U)$

Расположив осветитель на расстоянии 13 см от фотоэлемента и установив постоянное напряжение равное 100 В. Постепенно удаляя осветитель от фотоэлемента, было произведено измерение фототока (табл. 2).

Таблица 2

Результаты измерения фототока при удалении осветителя от фотоэлемента

Расстояние, см	I, мА
13	24
15	22
17	19
20	14
22	12
24	11
28	8
35	6
40	6
60	4

Затем были произведены те же измерения, приближая осветитель к фотоэлементу до первоначального расстояния, равного 13 см (табл. 3).

Таблица 3

Результаты измерения фототока при приближении осветителя к фотоэлементу

Расстояние, см	I, мА
28	10
20	14
17	20
13	26

По результатам измерений, указанным в табл. 3 и 4 построен график зависимости величины фототока от освещенности при постоянном напряжении.

Таблица 4

$I_{фср}$, А	E, лк
$25 \cdot 10^{-6}$	591
$19.5 \cdot 10^{-6}$	346
$14 \cdot 10^{-6}$	250
$9 \cdot 10^{-6}$ А	127

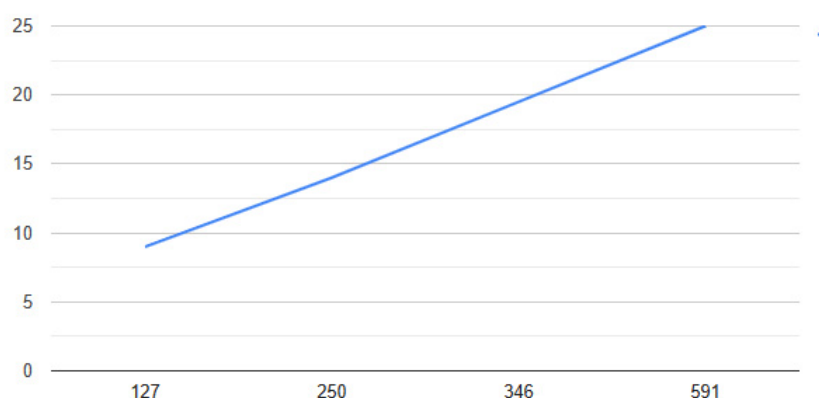


Рис. 3. График зависимости величины фототока от освещенности

Таким образом, в данной работе были построены графики зависимости $i_f = f(U)$ для трех значений освещенности, а также график зависимости $i_f = f(E)$ при постоянном

напряжении, что позволило экспериментально доказать зависимость фототока от приложенного напряжения и освещения [1].

Явление фотоэффекта положено в основу принципа работы фотоэлементов, например, фоторезисторов. На современном этапе развития техники и технологий перспективными являются прозрачные проводящие покрытия, которые находят применение в солнечных элементах, в устройствах функциональной электроники [3–5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Першенков П. П., Яшин С. В. Оптика : лабораторный практикум по физике. Пенза : Изд-во ПГУ, 2022.
2. Казаков А. Ю., Костюнин А. В., Разумов А. В. Квантовые свойства излучения : метод. указания. Пенза : Изд-во ПГУ, 2008.
3. Raksha S. V., Kondrashin V. I., Pecherskaya E. A., Nikolaev K. O. Functional materials for dye-sensitized solar cells // Журнал нано- и электронной физики. 2015. Т. 7, № 4. С. 04062.
4. Ракша С. В., Кондрашин В. И., Печерская Е. А., Николаев К. О. Функциональные материалы для сенсibilизированных красителем солнечных элементов // Физика и технология наноматериалов и структур : сб. науч. ст. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. / Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ). Курск, 2015. С. 143–146.
5. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В., Козлов Г. В., Печерский А. В. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 2 (28). С. 99–107.

ЭЛЕКТРОФОРМИРОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННОГО МАТЕРИАЛА ZnO/ПОЛИСТИРОЛ ДЛЯ ГИБКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Иван Андреевич Филиппов¹, Игорь Александрович Пронин²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

В настоящее время выращивание металлооксидных полупроводниковых наноструктур на полимерных подложках имеет большое значение для разработки гибких фотоэлектрических устройств из-за их уникальных преимуществ, таких как высокая устойчивость к ударным повреждениям, транспортабельность и низкая стоимость. Среди различных оксидных соединений наноструктуры ZnO представляют большой интерес из-за их важных и уникальных свойств для огромного спектра нанотехнологических приложений, таких как детекторы ультрафиолетового (УФ) излучения, химические датчики, пьезодатчики, биосенсоры.

Важным свойством ZnO является возможность синтезировать наноструктуры на его основе недорогими методами, основанными на росте фазы в растворе, поскольку они обеспечивают высокую скорость осаждения на самые разнообразные подложки без необходимости высокой температуры синтеза [1, 2]. В частности, внимание привлекает мягкий гидротермальный синтез из-за простой экспериментальной установки, экономической эффективности и хорошего потенциала для масштабирования.

В настоящее время доступно несколько методов изготовления волокнистых полимерных подложек: полимеризация на пористых шаблонах, самосборка и выдувание из расплава. Однако электростатическое прядение или электроформирование (ЭФВ) волокна является уникальной технологией не только из-за простоты эксплуатации, но и потому, что ее можно эффективно масштабировать, открывая перспективы для промышленного производства [3].

В этом процессе используется источник высокого напряжения для ввода заряда заданной полярности в раствор полимера, который затем ускоряется по направлению

к электроду-мишени противоположной полярности. По мере того, как электростатическое притяжение между противоположно заряженной жидкостью и мишенью и электростатическое отталкивание между одноименными зарядами в жидкости усиливаются, передняя кромка раствора изменяется от закругленного мениска к конусу (конус Тейлора) когда напряженность электрического поля позволяет преодолеть силы поверхностного натяжения жидкости. Струя волокна проходит через атмосферу, позволяя растворителю испаряться, что приводит к осаждению твердых полимерных волокон на коллекторе. Волокна, полученные с использованием этого процесса, обычно имеют диаметр от нескольких микрометров до десятков нанометров.

В статье представлена методика изготовления полимерного волокна на основе полистирола, а также методика выращивания стержней ZnO на этом волокне методом гидротермального синтеза. Также проведено исследование зависимости роста кристаллов от соотношения реагентов ростового раствора.

Волокно получали методом ЭФВ из раствора полистирола концентрацией 15 % масс. Для получения раствора сначала смешивали ксилол и ацетон в соотношении 55:45 на магнитной мешалке, затем добавляли полистирол по частям и мешали до получения гомогенного раствора. Процесс ЭФВ проводили при скорости подачи раствора 20 мкл/мин, напряжении 18 кВ и расстоянии 20 см от кончика иглы до электрода-мишени.

Рост стержней оксида цинка проводили гидротермальным методом. Для синтеза кристаллов на полимерном волокне, сначала получили зародышевый раствор наночастиц ZnO. Для этого в этиловый спирт добавляли дигидрат ацетата цинка в количестве 0,04 М и мешали на магнитной мешалке в течении часа. Полученный зародышевый раствор высаживали на волокно каплями из шприца.

Раствор для гидротермального синтеза готовили, смешав дигидрат ацетата цинка и уротропин в дистиллированной воде; при этом концентрация раствора составила 0,01М. Для исследования влияния параметров гидротермального синтеза на рост наностержней ZnO были приготовлены растворы с соотношением дигидрата ацетата цинка и уротропина 1:1 и 1:2. Затравленные мембраны погружали в полученный раствор и выращивали в муфельной печи при температуре 90 °С течение 6,5 ч. После образцы охлаждались до комнатной температуры, промывались дистиллированной водой и сушились при 60 °С в течение 3 ч.

Полученные образцы были исследованы методом растровой электронной микроскопии. На рис. 1 приведены микрофотографии гетерогенного волокна ZnO/полимер.

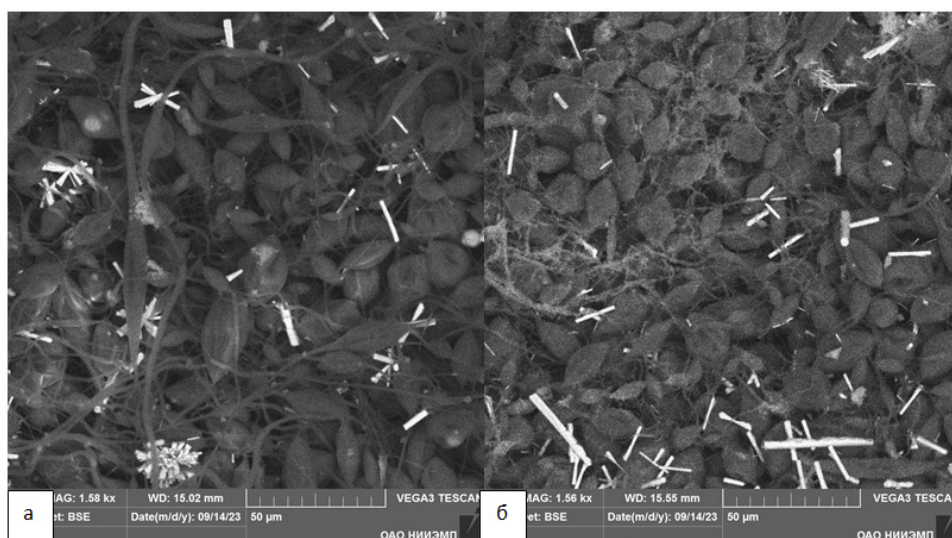


Рис. 1. Микрофотографии гетерогенных плёнок ZnO/полимер с соотношением дигидрата ацетата цинка и уротропина в ростовом растворе: *а* – 1:1; *б* – 1:2

Так при концентрации ростового раствора 1:1 стержни имели ширину 1,5...3 мкм и длину 10...20 мкм, а при концентрации 1:2 ширину 0,8...3 мкм и длину 10...40 мкм. Проанализировав микрофотографии видно, что у стержней, выращенных в растворе с большей долей уротропина, нежели дигидрата ацетата цинка, увеличивается рост в длину, а ширина остаётся такой же как при равных долях реагентов в ростовом растворе. Таким образом, уротропин чувствует не только в регулировании pH, но и имеет вторичную функцию по смещению анизотропного роста ZnO вдоль оси (0001), что может быть связано с присоединением хелатирующих молекул уротропина к боковым граням ZnO, что ведёт к эффекту стерического препятствия и росту в длину.

Таким образом, в ходе работы были синтезированы стержни ZnO на подложке из полистирола, изготовленной методом ЭФВ. Также исследован механизм роста наностержней ZnO от соотношения дигидрата ацетата цинка и уротропина в ростовом растворе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зинченко Т. О., Печерская Е. А., Крайнова К. Ю., Голубков П. Е., Сибринин Б. П. Автоматизированная система поворота дифракционной решётки спектрофотометра // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 3 (29). С. 119–126.
2. Бодин О. Н., Солодимова Г. А., Спиркин А. Н. Нейроинтерфейс для управления роботизированными устройствами // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 4 (30). С. 70–76.
3. Luana Persano [et al.]. Industrial Upscaling of Electrospinning and Applications of Polymer Nanofibers: A Review // Macromolecular Materials and Engineering. 2013. Vol. 298 (5). P. 504–520.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО СИНТЕЗА ОКСИДА ЦИНКА НА СТРУКТУРУ ГЕТЕРОГЕННОГО ВОЛОКНА ZnO/ПОЛИСТИРОЛ

Иван Андреевич Филиппов¹, Игорь Александрович Пронин²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Одномерные массивы наноструктур ZnO, такие как стержни и проволоки играют важную роль во многих приложениях, такие как пьезоэлектрические преобразователи, фотоэлектрические устройства, детекторы УФ-излучения и т.д. за счёт их высокого отношения поверхности к объёму, быстрый отклик и специфическую кристаллическую ориентацию [1, 2].

Изготовление наностержней ZnO может осуществляться следующими методами: термическим окислением, химическим осаждением из паровой фазы, гидротермальным синтезом и т.д. Среди приведённых методик особое внимание привлекает гидротермальный синтез за счёт низкой себестоимости процесса и оборудования, низкой температуры синтеза и экологичности [3].

Электроформирование волокна (ЭФВ) – это процесс, в котором используется сильное электрическое поле для вытягивания раствора полимера в тонкую нить. Электроформирование является наиболее простым, экономически выгодным и имеет огромный потенциал для коммерческого применения среди различных методов получения полимерных плёнок с волокнами субмикронного размера.

В данной работе проведено исследование влияния времени гидротермального синтеза микростержней оксида цинка на структуру волокна ZnO/полистирол. Волокно на основе полистирола было получено методом ЭФВ.

Для изготовления волокон метом ЭФВ приготовили раствор полистирола с концентрацией 15% масс. путем смешивания ксилола и ацетона в соотношении 55:45 и дальнейшего перемешивания в течении 15 минут на магнитной мешалке. В полученный раствор частями добавляли полистирол и перемешивали до получения гомогенного раствора. На следующем этапе из данного раствора изготавливали волокно методом ЭФВ со скоростью подачи 20 мкл/мин, напряжением 18 кВ и расстоянием 20 см от иглы шприца до мишени.

Засеяли зародыши ZnO на волокно, для этого сначала приготовили зародошевый раствор смешав в течении часа этиловый спирт и 0,04 М дигидрата ацетата цинка. Засевание зародышей проводилось на волокно каплями из медицинского шприца.

Для выращивания стержней ZnO приготовили ростовой раствор путем смешивания дигидрата ацетата цинка и уротропина в мольном соотношении 1:1 в течение 30 мин на магнитной мешалке. Волокна помещали в ростовой раствор и синтезировали в муфельной печи при температуре 90 °С в течение 4 и 6 ч.

После синтеза образцы были промыты дистиллированной водой и сушились в течение 3 ч при 60 °С.

Исследование морфологии образца проводили методом растровой электронной микроскопии, микрофотографии тканей приведены на рис. 1.

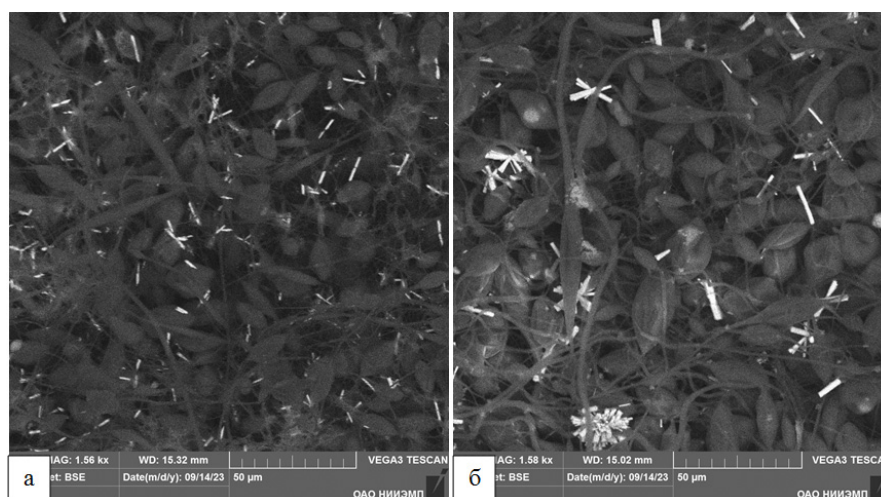


Рис. 1. Микрофотографии гетерогенных волокон ZnO/полимер при различном времени роста: а – 4 ч; б – 6 ч

На микрофотографиях видно что с увеличением времени синтеза увеличивается размер кристаллов: так, у образца с временем синтеза 4 часа средняя длина стержней находилась в диапазоне 4...13 мкм, а ширина – 1...2 мкм; у образца с временем синтеза 6 часов длина составила 10 ... 20 мкм и ширина – 1,5...3 мкм.

Таким образом, с течением времени наблюдается в основном анизотропный рост кристаллов по сои 0001, данное явление может быть обусловлено ингибированием латерального роста стержней молекулами уротропина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Печерская Е. А., Гурин С. А., Новичков М. Д. Высокотемпературный отжиг многослойных резистивных структур // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 1 (43). С. 56–61.
2. Голубков П. Е., Печерская Е. А., Козлов Г. В. [и др.]. Исследование влияния частоты измерительного сигнала на погрешность косвенного измерения свойств оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 1 (39). С. 64.
3. Sabah M. Mohammad [et al.]. Fabrication of low cost UV photo detector using ZnO nanorods grown onto nylon substrate // Journal of Materials Science : materials in Electronics. 2014. Vol. 26 (3).

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ ГИБКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМИРОВАНИЯ ВОЛОКНА

Иван Андреевич Филиппов¹, Игорь Александрович Пронин²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Электроформирование волокна (ЭФВ) – это уникальный метод получения непрерывных полимерных волокон. В последнее время он вызывает большой интерес из-за гибкости при прядении широкого спектра полимерных волокон и его устойчивости в производстве материалов с диаметром волокна от субмикронного до десятков нанометров, который зависит от типа полимера и условий обработки.

Получаемые волокна имеют потенциал для целого ряда полезных применений, таких как проводящие полимерные биосенсоры, фильтрующие мембраны, биомедицинские каркасы, перевязочные материалы для ран, искусственные органы, наноэлектроника, нанокompозиты и защищенная химически одежда.

Процесс ЭФВ можно описать следующим образом: к капле раствора полимера, подвешенной на кончике фильеры, прикладывается высокий электрический потенциал, который придает раствору полимера электростатический заряд. При высоких электрических потенциалах электростатическая сила отталкивания на поверхности жидкости преодолевает поверхностное натяжение и образуется капля Тэйлора, из которой выбрасывается заряженная струя. Струя распространяется по прямой на определенное расстояние, а затем изгибается и следует по петлеобразной и спиральной траектории. Силы электростатического отталкивания могут удлинить струю в несколько тысяч раз, что приводит к образованию очень тонкой струи. При испарении растворителя затвердевшие полимерные нити собираются на заземленной мишени в виде нетканого полотна [1].

Установка ЭФВ состоит из устройства подачи раствора полимера, источника высокого напряжения и электрода-мишени, на которую осаждается волокно. Схема установки представлена на рис. 1.

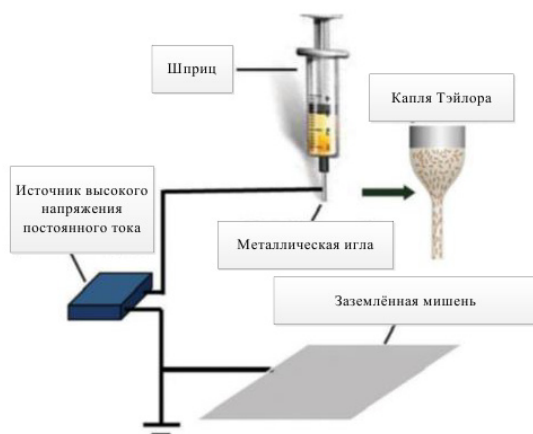


Рис. 1. Схема типичной установки ЭФВ волокна

От источника высокого напряжения разноимённые потенциалы подаются на электрод, погружённый в раствор полимера и электрод-мишень. При включении источника высокого напряжения электрод придает электрический заряд раствору полимера.

В результате указанных физических процессов сила электростатического отталкивания преодолевает силу поверхностного натяжения и образуется конус Тэйлора, из вершины которого выбрасывается струя полимера. По ходу пролёта струи из неё испаряется растворитель и она оседает на электроде-мишени в виде полимерной нити.

Целью работы служит разработка установки электроформирования волокон из растворов полимеров. На рис. 2 представлена установка ЭФВ.

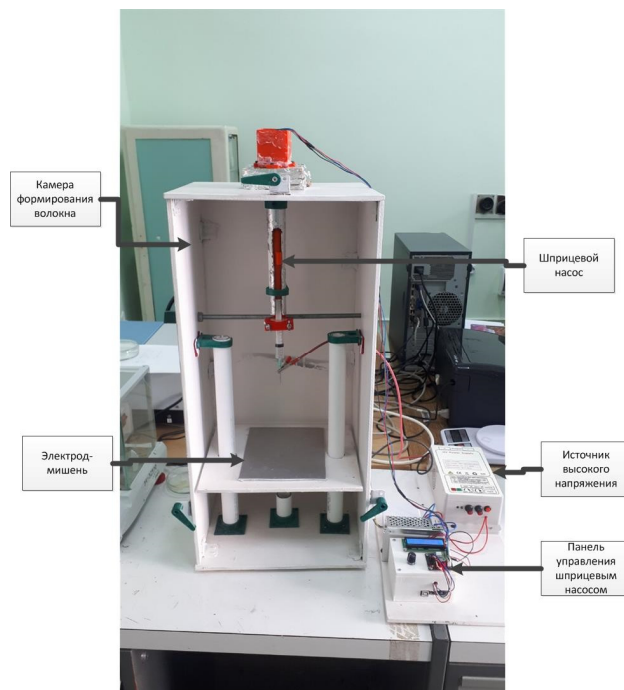


Рис. 2. Установка ЭФВ

Установка состоит из двух блоков. Первый блок представляет собой камеру электроформирования волокна, которая также содержит шприцевой насос для подачи раствора полимера и электрод-мишень (алюминиевая плита с выводом под крепление «крокодил» для подвода потенциала напряжения) с регулировкой по высоте. Шприцевой насос интегрирован в конструкцию камеры и является её частью, работа основана на преобразовании вращающего движения шагового двигателя в поступательное через передачу винт-гайка.

Второй блок является блоком управления, имеет высоковольтный источник постоянного напряжения в диапазоне 3...30 кВ, а так же панель управления и блок питания шприцевого насоса. Система управления построена на основе платы «*Arduino Uno*» [2,3] и позволяет регулировать подачу раствора со скоростью 5...10 000 мкл/мин, управление шаговым двигателем производится драйвером «A4988» с делением шага 1/16, для вывода информации используется дисплей «*LCD 1602 I2C*», а для установки скорости подачи раствора инкрементальный энкодер с кнопкой.

Для изготовления раствора полистирола с массовой долей 15 % 1,48 г полимера растворили в 10 мл раствора ксилола и ацетона в соотношении 55:45. Сначала происходило смешивание ксилола с ацетоном в колбе с последующим перемешиванием на магнитной мешалке в течении 15 мин. На следующем этапе проводилась добавка полистирола и его перемешивание со смесью растворителей до получения гомогенного раствора. Полученный раствор загружали в шприц и изготавливали волокно со скоростью подачи 1 мл/ч, напряжением 15 кВ и расстоянием между иглой и мишенью в 20 см. На рис. 3 представлена фотография волокна и фотография, полученная с помощью оптического микроскопа при увеличении $\times 500$.

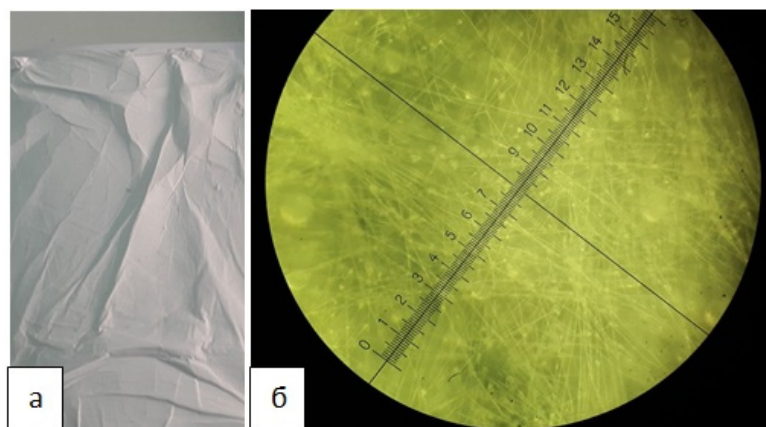


Рис. 3. *а* – фотография волокна; *б* – оптическая микроскопия

В итоге ЭФВ было получено нетканое волокно со средним диаметром нити 0.6...0.7 мкм.

Таким образом, в работе продемонстрирована автоматизированная установка получения полимерных волокон методом электропрядения, позволяющая управляемо получать гибкие материалы на основе полистирола, АБС-пластика и других материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Binoy B. Literature Review on Electrospinning Process (A Fascinating Fiber Fabrication Technique) // Imperial Journal of Interdisciplinary Research. 2016. Vol. 2 (8). P. 972–984.
2. Медведев М. А., Чайковский В. М. Интеллектуальная перчатка распознавания жестов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2 (44). С. 5–10.
3. Бодин О. Н., Солодимова Г. А., Спиркин А. Н. Нейроинтерфейс для управления роботизированными устройствами // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 4 (30). С. 70–76.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ RFID ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ УСТРОЙСТВ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ

**Дмитрий Сергеевич Бояркин¹, Виктор Дмитриевич Ежижанский²,
Егор Андреевич Асеев³, Ильнур Алексадрович Пызаров⁴,
Алексей Владимирович Лысенко⁵**

^{1,2,3,4,5}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение

В современном мире технологии играют ключевую роль в различных аспектах нашей жизни, и *RFID* (*Radio Frequency Identification*) является одной из самых передовых и многообещающих технологий, которая меняет то, как мы взаимодействуем с окружающим миром [1–3]. Применение *RFID* охватывает множество сфер, включая производство, логистику, здравоохранение, транспорт, сельское хозяйство и многие другие отрасли [4–6]. *RFID* позволяет упростить и автоматизировать процессы сбора и обработки данных, а также снизить затраты на обслуживание какого-либо оборудования и улучшить его качество [7–9].

Рассматривая технологию *RFID*, ее возможности и преимущества перед другими технологиями, можно смело утверждать о перспективах развития и применения данной технологии в системах контроля технического обслуживания и ремонта (ТОиР)

устройств, требующих повышенной надежности, таких как спецтехника, медицинское оборудование, авиационная аппаратура, системы управления и контроля на опасных производствах, оборудование для добычи и транспортировки нефти и газа, железнодорожная техника, системы управления электростанциями и электросетями и т.д. Внедрение новых методов контроля ТООР, таких как использование технологии *RFID*, позволяет обеспечить высокую степень надежности устройств [10]. Если техническое обслуживание и ремонт проводятся регулярно и качественно, то вероятность возникновения отказов и сбоев в работе устройств снижается. Это особенно важно для той аппаратуры, которая работает в критических условиях и от которой зависит безопасность людей или функционирование важных систем. Также в контексте контроля технического обслуживания различного оборудования, применение *RFID* будет способствовать предотвращению халатности со стороны сотрудников, отвечающих за ТООР, обеспечивая контроль за проведением работ и возможность легко отследить, каким работником или бригадой, и когда эти работы проводились [11]. Кроме того, контроль технического обслуживания и ремонта при помощи данной технологии позволяет оптимизировать затраты на эксплуатацию устройств, так как закупка и введение в эксплуатацию *RFID* оборудования (меток и считывателей) и программного обеспечения (ПО) – это относительно недорогая операция в рамках крупного предприятия. Например, розничная стоимость высокочастотной метки типа «диск» составляет 20–80 рублей, а специальный считыватель может заменить обычный смартфон или планшет с функцией *NFC* и специальным ПО, затраты на приобретение которого единоразовые. Таким образом, регулярное проведение мероприятий ТООР и контроль над ним при помощи технологии *RFID* позволяет выявить и устранить проблемы на ранних стадиях, что снижает вероятность более серьезных отказов и связанных с ними затрат.

Характеристика технологии *RFID*

RFID, или радиочастотная идентификация, представляет собой бесконтактный метод автоматической идентификации объектов, основанный на использовании радиосигналов. Эта технология позволяет быстро и точно идентифицировать различные объекты, такие как товары, аппаратура, транспортные средства, или даже животные, путем их маркировки специальными радиочастотными метками [11].

Технология *RFID* позволяет при помощи радиосигнала быстро и безопасно передавать данные между специальными «считывателями» и «метками» – карточками, брелоками, браслетами и т.д. на небольшом расстоянии. Одно из широко известных развитий технологии – *NFC*, при помощи которого можно оплачивать покупки или подключать устройства бесконтактно. *RFID*-системы широко применяются для контроля доступа персонала – на территорию предприятия, гостей и посетителей – на различные мероприятия [12].

RFID-метки представляют собой миниатюрные устройства, которые могут быть прикреплены к объектам или размещены внутри них (рис. 1). Они состоят из трех основных компонентов: интегральной схемы (чипа), антенны и оболочки. Чип содержит микропроцессор, память и другие электронные компоненты (рис. 2). Антенна служит для передачи и приема радиосигналов. Оболочка защищает чип и антенну от внешних воздействий.



Рис. 1. Пример конструкции RFID-метки

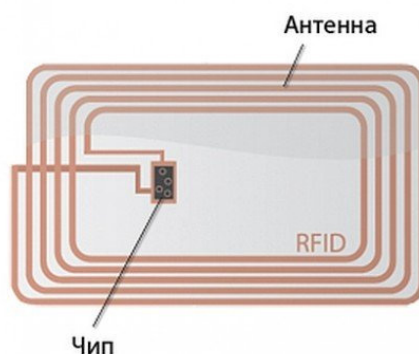


Рис. 2. Внутреннее устройство RFID-метки

Существуют считыватели *RFID*-меток нескольких типов: фиксированные, портативные и встроенные. Фиксированные считыватели устанавливаются на неподвижных объектах, таких как стены или потолки, и используются для автоматического сканирования меток. Портативные считыватели легко переносимы и используются для сканирования меток вручну. Встроенные считыватели встроены непосредственно в оборудование или устройства и используются для автоматического сканирования меток.

Виды *RFID*-меток

Существует множество разновидностей *RFID*-меток, отличающихся по размеру, форме, типу памяти, способу электропитания, возможности перезаписи, рабочему диапазону частот и другим признакам. По диапазону частот *RFID*-метки подразделяются на:

1) *HF (High Frequency)* метки работают на частоте 13,56 МГц и имеют дальность считывания до 1–2 м. Они могут использоваться, например, для идентификации товаров в магазинах и на складах.

2) *UHF (Ultra High Frequency)* метки функционируют на частоте 860–960 МГц и обеспечивают дальность считывания до 5–10 м. Они применяются для контроля доступа, отслеживания грузов и животных, а также для медицинского мониторинга.

3) *LF (Low Frequency)* метки используют частоту 125–134 кГц и имеют дальность действия до 100 м. Их применяют для отслеживания багажа и других объектов на больших расстояниях.

NFC (Near Field Communication) метки работают в ближнем поле и функционируют на частоте 13,56 МГц. Они используются в мобильных устройствах для бесконтактных платежей и обмена данными.

Ресурс *RFID*-метки зависит от ее типа и условий эксплуатации. Обычно ресурс составляет от нескольких лет до нескольких десятков лет. Объем памяти метки может колебаться от нескольких килобайт до нескольких мегабайт [11].

По способу питания метки делятся на пассивные, полупассивные и активные. Пассивные метки получают энергию для передачи данных от считывателя, который находится вблизи метки, благодаря явлению электромагнитной индукции. Активные метки имеют свою собственную батарею, которая питает метку и позволяет передавать данные на большее расстояние. Полупассивные метки используют батарею только для передачи данных, но получают энергию от считывателя для активации.

Память метки может быть разной в зависимости от типа метки. Пассивные метки обычно имеют меньший объем памяти, чем активные метки. *RFID*-метки могут хранить различную информацию от одного серийного номера до нескольких страниц данных. Ресурс метки также может быть разным и зависит от ее типа и производителя. Некоторые метки имеют ресурс более 10 лет, а некоторые только несколько месяцев.

RFID-метки могут работать в различных условиях, но их производительность и срок службы могут зависеть от факторов окружающей среды, таких как температура, влажность, электромагнитные помехи и близость металлических объектов.

Метки высокочастотного диапазона (*HF*) обычно работают при температурах от -20 до $+85$ °C и влажности до 95 %. Метки ультравысокочастотного диапазона (*UHF*) могут работать при температурах от -40 до $+85$ °C и относительной влажности до 100 % [10].

Однако следует учитывать, что производительность меток может снижаться при работе в условиях сильных электромагнитных помех или при наличии металлических объектов вблизи метки (в последнем случае используются специальные метки с ферритовой подложкой). Поэтому для оптимального функционирования *RFID*-системы важно правильно выбрать тип меток и учесть все факторы окружающей среды.

Организация памяти *RFID*-меток

Рассмотрим организацию памяти меток на примере наиболее распространенного типа – *MIFARE Classic 1K*, как понятно из названия – на 1 килобайт. Чтобы изучить организацию памяти такой метки, можно воспользоваться схемой, отображенной на рис. 3.

MIFARE Classic 1K		
Сектор	Блок	Содержимое
15	63	Блок безопасности
	62	16 Байт данных
	61	16 Байт данных
	60	16 Байт данных
...	...	...
01	07	Блок безопасности
	06	16 Байт данных
	05	16 Байт данных
	04	16 Байт данных
00	03	Блок безопасности
	02	16 Байт данных
	01	16 Байт данных
	00	Информация изготовителя

Рис. 3. Структура памяти метки *MIFARE Classic 1K*

Память такой метки организована в виде 16-ти секторов, по 4 блока каждый. Итого – 64 блока по 16 байт, в сумме 1 килобайт. Деление по секторам носит скорее условный характер, так как адресация в памяти производится по блокам.

Все сектора кроме нулевого имеют одинаковое строение – 3 блока данных + 1 блок безопасности, который носит название *sector trailer*. Каждый из этих блоков может быть прочитан и перезаписан (при соблюдении определенных условий), исключение составляет нулевой блок (сектор 0).

Нулевой блок хранит в себе уникальный *ID* “*UID*”, тип метки и прочую информацию, записанную заводом-изготовителем. Нулевой сектор не может быть перезаписан, если речь идет о “классических” метках. Таким образом *UID* позволяет отличить две с виду идентичные метки. *UID* как правило состоит из 4х байт, свободно считываемых из метки.

Блоком безопасности является каждый 4й блок, каждый блок безопасности отвечает за свой сектор (предыдущие 3 блока данных) – он хранит 2 ключа доступа по 6 байт (ключи А и В), а также специальные “*Access bits*” (биты доступа), которые содержат настройки доступа. Ключи А и В могут быть использованы для аутентификации

и последующего доступа к блокам данных в пределах сектора. Таким образом, для того чтобы получить доступ к любому из блоков внутри сектора необходимо “разблокировать” этот сектор, при помощи одного из ключей. Поэтому, если производитель позаботился о смене секретных ключей в своих *RFID*-метках, то скопировать или как-нибудь изменить содержимое штатными средствами уже нельзя.

Примеры использования технологии *RFID*

Технология *RFID* может быть применена в различных отраслях, включая производство, логистику, торговлю, транспорт, здравоохранение и т. д. Возможные сценарии использования *RFID* в техническом обслуживании и ремонте оборудования – это автоматическая идентификация и отслеживание деталей и комплектующих, контроль проведения мероприятий по техническому обслуживанию (ТО) и ремонту оборудования и т.п. Например, *RFID*-метки могут быть прикреплены к запасным частям, что позволит системе автоматически отслеживать их перемещение, сроки замены и историю обслуживания оборудования [13]. Это может значительно сократить время на поиск и замену деталей, а также снизить вероятность ошибок и злоупотреблений. Или же, метки могут быть установлены на оборудование и использоваться для считывания и получения информации о состоянии оборудования, дате последнего технического обслуживания, просмотра истории ТО и ремонтов и информации о том, кто проводил ремонтные работы. Это может помочь в планировании технического обслуживания и предотвращении неожиданных сбоев в работе оборудования, минимизировать влияние человеческого фактора, из-за которого ТО или ремонт важного оборудования могут быть проведены некачественно или вообще не быть проведены. В этом случае у контролирующих лиц всегда есть возможность считать сведения о промаркированном оборудовании и выяснить, кто из сотрудников должен был в конкретную дату заниматься работами по техническому обслуживанию и ремонту.

Рассмотрим пример использования *RFID*-технологии для контроля ТОиР какого-либо промышленного оборудования.

На корпус или любой другой конструктивный элемент с заводским номером каждой единицы оборудования, подлежащего техническому обслуживанию, устанавливается *RFID*-метка. Она может быть установлена под внешнюю крышку, чтобы быть дополнительно защищенной от внешних воздействий. Пример внедрения метки в оборудование приведен на рис. 4, 5.



Рис. 4. Метка в виде стикера, наклеенная на внутреннюю сторону рукоятки

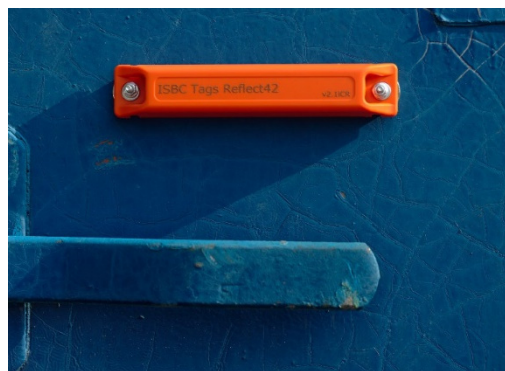


Рис. 5. Метка, установленная на металлической поверхности

Далее, при проведении технического обслуживания специалист сканирует метку с помощью *RFID* считывателя. Считыватель автоматически передает информацию о том, когда, какой бригадой или работником и какие работы были проведены с компонентом, на сервер предприятия, который хранит информацию о проведенных работах и сроках

следующего технического обслуживания каждого компонента. Когда подходит срок следующего технического обслуживания, сервер отправляет уведомление специалисту, ответственному за обслуживание данного компонента. Специалист проводит техническое обслуживание компонента и обновляет информацию на *RFID*-метке, что позволяет избежать ошибок и гарантирует своевременное проведение всех необходимых работ [12–14].

Таким образом, *RFID*-метки позволяют автоматизировать процесс контроля технического обслуживания оборудования и значительно сократить время и затраты на проведение профилактических и ремонтных работ, а у каждой единицы оборудования будет прозрачная история обслуживания и эксплуатации. *RFID*-технология обеспечивает точность, надежность и прозрачность процесса обслуживания, что повышает общую эффективность работы предприятия. Оборудование можно будет легко проверить на месте его эксплуатации и легко занести новые сведения о нем в базу данных, а благодаря защитным ключам, содержащимся в метках, считать и отредактировать ее содержимое сможет только ответственный за это сотрудник. Это повысит ответственность работников, занимающихся техническим обслуживанием и ремонтом. Более того, это поможет значительно снизить влияние человеческого фактора в проведении ТО, позволит избежать халатности сотрудников на рабочем месте и идущих за этим последствий в виде отказов важного оборудования, от функционирования которого может зависеть работа предприятия или человеческая жизнь.

Заключение

В заключение нужно сказать, что *RFID*-технология является эффективным инструментом для автоматизации множества процессов, и в частности, контроля технического обслуживания и ремонта различного оборудования, требующего повышенной надежности. Благодаря своей способности точно идентифицировать объекты и отслеживать их перемещение, *RFID* позволяет оптимизировать процессы поиска и замены запасных частей, контролировать сроки замены и вести историю обслуживания.

В то же время, выбор и внедрение *RFID*-решений требует тщательного анализа и планирования, учитывая факторы окружающей среды и особенности конкретной системы. Важно также обеспечить совместимость меток с существующими системами и предусмотреть возможность расширения и модернизации системы в будущем.

Таким образом, при правильном подходе и планировании, применение технологии *RFID* может стать эффективным элементом в оптимизации процессов технического обслуживания и ремонта оборудования, требующего повышенной надежности, при относительно небольших затратах, и повысить эффективность работы предприятия в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Golushko D. A., Lysenko A. V., Yurkov N. K., Bushmelev P. E., Kalaev M. P. Multi-channel vibration measurement machine // Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2016. 2016. P. 7879015.
2. Голушко Д. А. Методика исследования динамических характеристик технических систем // Современные информационные технологии. 2015. № 21. С. 60–65.
3. Юрков Н. К., Затылкин А. В., Голушко Д. А. Интерфейс взаимодействия многоканального виброиспытательного оборудования с программной средой управления исследованиями // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. М. : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2014. С. 7203–7208.
4. 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. 2018. P. 105–112.
5. Белов А. Г., Баннов В. Я., Трусов В. А. [и др.]. Влагозащитное покрытие печатных узлов в датчике утечки воды // Современные информационные технологии. 2014. № 19. С. 265–272.
6. Нефедьев Д. И., Широкова Е. А. Системы радиочастотной идентификации с использованием сверхширокополосных сигналов // Методы, средства и технологии получения

и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2021»): материалы XIII Международ. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Пенза, 28–30 октября 2021 г.) / под ред. Е. А. Печерской. Пенза : Изд-во ПГУ, 2021. С. 65–67.

7. Надырбеков Г. Ж., Григорьев А. В., Кочегаров И. И. [и др.]. Структурное описание размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т. 2. С. 11.

8. Yurkov N. K., Tankov G. V., Lysenko A. V., Trusov V. A. On the problem of experimental research of forced vibrations of plates // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM. 2016. P. 416–418. doi: 10.1109/SCM.2016.7519798

9. Лысенко А. В. Анализ современных систем управления проектами // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 1. С. 371–372.

10. Смирнов А. С., Стариковский А. В. Программно-аппаратный комплекс *RFID* для автоматизации учета объектов // Наука и современность. 2010. № 3-2. С. 209–213.

11. Семенов А. Д., Волков А. В., Семяхина Е. Д. Нейросетевая параметрическая идентификация нелинейных динамических моделей // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2022»): материалы XIV Международ. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для обучающихся и молодых ученых (г. Пенза, 24–26 октября 2022 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 138–140.

12. Баевский А. А. *RFID* технология и ее перспективы в России // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2015. № 3. С. 98–103.

13. Семенов А. Д., Волков А. В., Шумкина А. Ю. Разработка системы контроля и управления доступом на основе *RFID*-меток с двойной аутентификацией // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2021»): материалы XIII Международ. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Пенза, 28–30 октября 2021 г.) / под ред. Е. А. Печерской. Пенза : Изд-во ПГУ, 2021. С. 93–103.

14. Фимин А. В., Печерская Е. А., Голубков П. Е. Измерение резонансных частот пьезоэлектрических чувствительных элементов // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2022»): материалы XIV Международ. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для обучающихся и молодых ученых (г. Пенза, 24–26 октября 2022 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 315–318.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАЧ ВЕДЕНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

***Елена Олеговна Малашкина¹, Михаил Анатольевич Малашкин²,
Мария Геннадьевна Мясникова³***

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Электроэнергетические системы представляют собой сложный технический объект, в управлении которым должен обеспечиваться непрерывный технологический процесс с установленными параметрами режима работы.

Для обеспечения требований нормативной документации к надежности и качеству электроэнергии и в целях корректного ведения режима необходимо осуществление непрерывного мониторинга параметров сети, с контролем на всех этапах – от выработки до поставки электроэнергии конечному потребителю [1].

Для осуществления задач ведения режима работы электроэнергетических систем широко применяются различные системы мониторинга. Сюда относятся как локальные системы мониторинга и контроля технологического процесса, используемые непосредственно на энергообъекте, так и глобальные системы, получающие и объединяющие информацию одновременно от всех находящихся в ведении объектов. Такие системы применяются в том числе Системным оператором Единой энергетической системы России [2] для ведения нормального режима работы энергосистем.

Получение данных от энергообъектов, объединенных в энергосистему, происходит на базе типовой системы сбора и передачи информации с иерархической структурой передачи данных.

Упрощенную структуру системы сбора и передачи данных в электроэнергетических системах можно представить следующим образом (рис. 1).

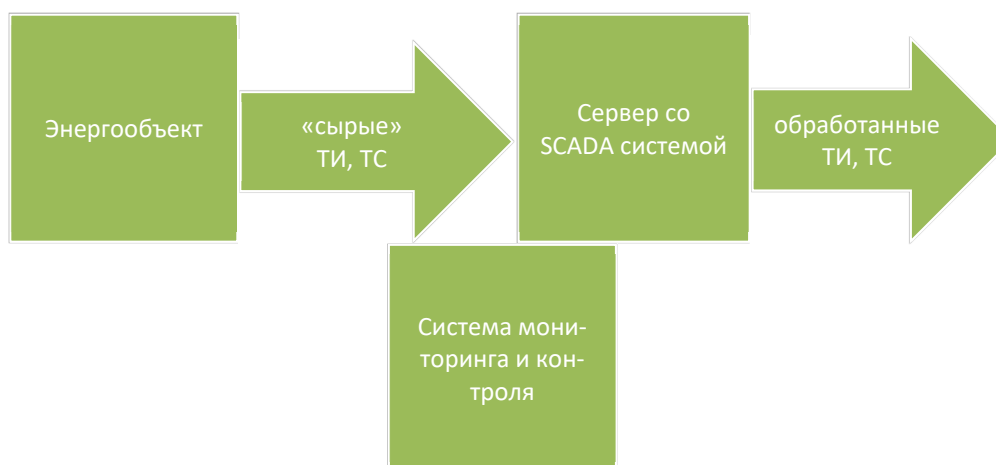


Рис. 1. Упрощенная структурная схема системы сбора и передачи данных

Современные системы мониторинга, применяемые в том числе и в электроэнергетической отрасли, могут включать в себя не только функционал по сбору, обработке и выводу данных, но и функционал по автоматизированному анализу этих данных, телесигнализацию, телеуправление в режиме реального времени. Источником данных для систем мониторинга является информация, полученная от SCADA [3] систем.

Глобальную систему мониторинга и контроля за состоянием режима работы энергосистемы представляет собой диспетчерский щит управления (мнемосхема), реализованный на базе операционно-измерительного комплекса СК-11, используемого Системным оператором [2]. На рис. 2 приведен фрагмент главной схемы диспетчерского щита управления энергосистемой. На главной схеме отображаются основные контролируемые параметры электрического режима – такие как частота, напряжение, ток, перетоки активной мощности, генерация электростанций. Кроме того, на главную схему выведена информация об объемах управляющих воздействий противоаварийной автоматики, перетоки мощности в контролируемых сечениях [4, 5], информация о температуре наружного воздуха и другая информация необходимая диспетчерскому персоналу для ведения режима работы сети. Все данные обновляются в режиме реального времени, с дискретностью, соответствующей требованиям нормативной документации.

В свою очередь из глобальной системы мониторинга можно выделить подсистемы для осуществления мониторинга и ведения режима по отдельным контролируемым параметрам.

В управлении электроэнергетической системой основными контролируемыми параметрами являются частота, напряжение, величина перетоков активной мощности в контролируемых сечениях [4, 5].

Для контроля этих параметров реализованы и применяются такие подсистемы мониторинга как:

- система мониторинга уровней напряжения;
- система мониторинга токовых нагрузок;
- система контроля перетоков и ограничений в сечениях.

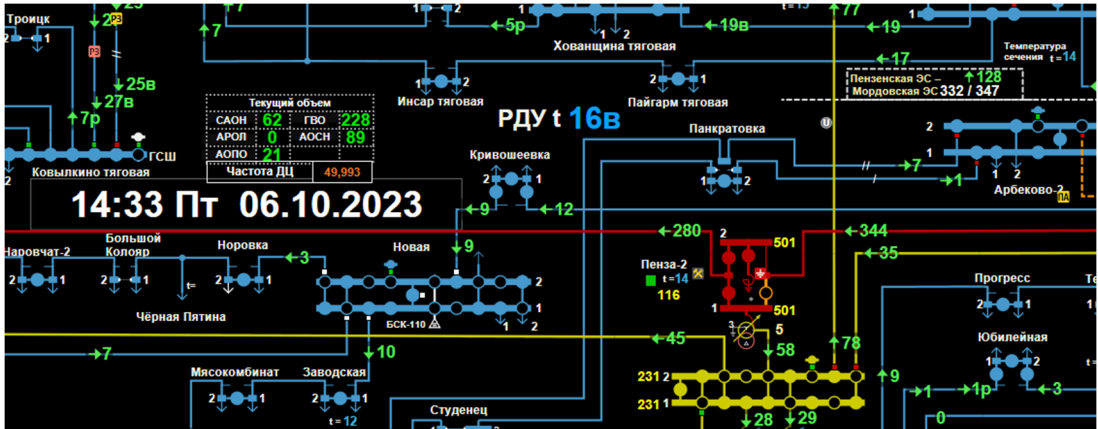


Рис. 2. Фрагмент главной схемы диспетчерского щита управления с отображением данных мониторинга в режиме реального времени

Система мониторинга уровней напряжения – осуществляет сбор и обработку данных об уровнях напряжения в контрольных пунктах [5] энергосистемы, а также об уровнях напряжения на энергообъектах, находящихся в диспетчерском управлении и ведении. На рис. 3 представлено окно отображения данных системы мониторинга уровней напряжения.

Мониторинг уровней напряжения - 06.10.2023 15:37:29

Объект контроля	Класс	Уфакт	График напряже...	Отдых изоляции	Нарушения
Пензенская ТЭЦ	110	116	111 117.5 124	00:00:00/01:00:00	11 (91-87) ОК
ПС 110 кВ Алекси	110	117		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Аннен	110	116		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Арбек	110	116		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Арбек	110	119		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Ардат	110	116		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Ардыл	110	116		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Атяше	110	113		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Башме	110	116		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Башме	110	115		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Белини	110	115		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Бессон	110	117		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Больш	110	115		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Больш	110	114		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Больш	110	112		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Верх	110	116		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Вишне	110	114		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Водоз	110	115		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Волчи	110	115		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Вост	110	114		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ ГКС	110	114		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Город	110	114		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Данил	110	116		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ ДСК	110	115		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Ельни	110	114		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Ельни	110	113		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Завод	110	115		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Заря	110	116		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Земет	110	115		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ Знаме	110	116		00:00:00/01:00:00	ОК
ПС 110 кВ ЗТП	110	117		00:00:00/01:00:00	ОК

Рис. 3. Окно отображения данных системы мониторинга токовых нагрузок

В системе отображаются следующие данные: объекты контроля, класс напряжения, фактическое напряжение по данным телеизмерений, сведения о нарушениях. Контроль параметров осуществляется с помощью телесигнализации, в этой и других рассматриваемых ниже системах используется цветовая индикация в соответствии с действующими правилами отображения технологической информации

Система мониторинга токовой нагрузки представляет собой систему мониторинга и контроля допустимой величины токовых нагрузок. Мониторинг осуществляется в режиме реального времени. Информация о фактических значениях формируется на основе телеметрических данных – используется максимальное значение тока, выбранное из фазных значений. Информация о номинальных и допустимых значениях заносится в систему и обновляется в ручном режиме. Объектами контроля данной системы являются значения токов, протекающих через силовые трансформаторы, секционные выключатели, линии электропередач.

Для технолога система мониторинга токовой нагрузки представлена в табличном виде, с отображением сведений о наименовании контролируемого оборудования, типом оборудования, сведениями о величинах длительно допустимых и аварийно-допустимых токовых нагрузок, температуре наружного воздуха, значений номинального и фактического токов и др. Вид системы мониторинга токовой нагрузки представлен на рис. 4.

Мониторинг токовых нагрузок - 06.10.2023 15:47:28

Тип	Оборудование	Принадлежит/подкл...	ТЭ	Класс U	Ифакт	%	Статус	ДДТН	АДТН	ТНВ	Ином	РПН	Ифакт кр	АДТН...
ВЛ	ВЛ 220 кВ Арамасская...	ЛЭП 220 кВ	отп Сар	220	274,4	30,03	ОК	913,77	913,77	15,2	825		274,4	913,77
ВЛ	ВЛ 110 кВ Мокша – Ков...	ЛЭП 110 кВ	ПС 220	110	150,37	29,9	ОК	502,91	502,91	14,1	450		150,37	502,91
ВЛ	ВЛ 110 кВ Мокша – Ков...	ЛЭП 110 кВ	ПС 220	110	143,03	28,44	ОК	502,91	502,91	14,1	450		143,03	502,91
ВЛ	ВЛ 220 кВ Осиневка – С...	ЛЭП 220 кВ	Ошиног	220	251,15	27,71	ОК	906,47	1070,61	15,2	803		251,15	1000
СВ-110/ПС	СВ-110/ПС 110 кВ Сосн...	ПС 110 кВ Сосновоборс...	ТТ-1-110	110	82,65	27,55	ОК	300	300	12,4	300		82,65	300
ВЛ	ВЛ 220 кВ Пенза-2 – Пе...	ЛЭП 220 кВ	ПС 220	220	252,2	27,51	ОК	916,63	1079,22	14,1	803		252,2	1000
ШСВ	ШСВ 110/ПС 110 кВ Але...	ПС 110 кВ Алексеевка/1...	Ошиног	110	143,52	27,38	ОК	524,27	576,7	8,5	450		143,52	576,7
АТ-3	АТ-3	ПС 500 кВ Пенза-2	СН	220	328,15	27,17	ОК	1208	1208	14,1	1208	5	328,15	2000
ВЛ	ВЛ 110 кВ Пенза-1 – Хи...	ЛЭП 110 кВ	ПС 220	110	153	26,86	ОК	569,7	627,05	14,1	510		153	627,05
ВЛ	ВЛ 110 кВ Сура – ДСК	ЛЭП 110 кВ	Ошиног	110	98,16	26,8	ОК	366,3	402,93	15,0	330		98,16	402,93
ВЛ	ВЛ 110 кВ Комсомольск...	ЛЭП 110 кВ	Ошиног	110	129,65	26,67	ОК	486,19	486,19	8,5	429		129,65	486,19
ВЛ	ВЛ 110 кВ Комсомольск...	ЛЭП 110 кВ	Ошиног	110	129,37	26,61	ОК	486,19	486,19	8,5	429		129,37	486,19
ВЛ	ВЛ 110 кВ Бессоновка – ...	ЛЭП 110 кВ	ПС 110	110	109,08	26,06	ОК	418,5	460,67	14,2	375		109,08	460,67
ВЛ	ВЛ 110 кВ Ардатов – Хм...	ЛЭП 110 кВ	ТТ-110к	110	82,78	25,87	ОК	320	384	14,6	320		82,78	384
СВ-110/ПС	СВ-110/ПС 110 кВ ДСК	ПС 110 кВ ДСК/110/СВ	Ошиног	110	94,74	25,87	ОК	366,3	402,93	15,0	330		94,74	402,93
Т-1	Т-1	ПС 220 кВ Центролит	ВН	220	39,24	25,75	ОК	152,41	153,5	20,8	153,5	10	39,24	260,95
ВЛ	ВЛ 110 кВ Сердобск – К...	ЛЭП 110 кВ	ПС 220	110	102,6	25,49	ОК	402,53	442,69	18,1	375		102,6	442,69
СВ-110/ПС	СВ-110/ПС 110 кВ Пяша	ПС 110 кВ Пяша/110/СВ	Ошиног	110	99,92	24,81	ОК	402,69	443,88	18,1	375		99,92	443,88
ВЛ	ВЛ 500 кВ Вешкайма – ...	ЛЭП 500 кВ	ВЧЗ 500	500	481,23	24,06	ОК	2000	2000	14,1	2000		481,23	2000
ВЛ	ВЛ 110 кВ Кузнецк – По...	ЛЭП 110 кВ	Ошиног	110	89,55	23,99	ОК	373,23	410,55	12,4	330		89,55	410,35

Рис. 4. Система мониторинга токовой нагрузки

Еще одной локальной системой мониторинга параметров электроэнергетического режима является **система контроля перетоков и ограничений в сечениях**. Сечение представляет собой совокупность элементов сети одновременное отключение которых приводит к разделению энергосистемы на изолированные работающие части (полное сечение) [4,5]. Превышение допустимых величин перетоков активной мощности в контролируемых сечениях несёт в себе угрозу нарушения устойчивости энергосистемы [5].

Данная система мониторинга позволяет контролировать загрузку в основных сечениях и необходима для непрерывного мониторинга и контроля работы энергосистемы в допустимых пределах. Окно отображения системы контроля перетоков и ограничений в сечениях представлено на рис. 5.

В окне системы отображаются сведения об объектах контроля, режиме контроля, величинах загрузки сечений по активной мощности и другие данные, необходимые технологу для осуществления мониторинга и контроля нормального режима работы электроэнергетической системы.

Развитие применяемых для осуществления задач по ведению электроэнергетического режима работы сети систем мониторинга и контроля не стоит на месте, как

и развитие электроэнергетической отрасли в целом. Рассмотренные в настоящей статье системы продолжают непрерывно совершенствоваться. На примере последней из рассмотренных систем – контроля перетоков и ограничений в сечениях можно отметить, что в настоящий момент данные, в частности, о режиме контроля – максимально и аварийно-допустимых перетоках мощности рассчитываются и вносятся технологом в «ручном» режиме, но уже сейчас активно внедряется приходящая на замену система мониторинга запасов устойчивости, позволяющая автоматизировать данные процессы с помощью использования алгоритма расчета на основе телеметрических данных. Таким образом вектор развития данных систем направлен на возможности осуществления в будущем не только мониторинга, но и проведения непрерывного цикла автоматизированных расчетов на основе данных получаемых от энергообъектов в режиме реального времени.

Сост.	Объект контроля	РК	ПА	АРЧМ	?	Факт, МВт	МДП, МВт	НК, МВт	МДП+НК, МВт	АДП, МВт	Запас, МВт	Загру...	Время перегруз...	Обратный отсчет	ТНВ	КДП	ДЦ
●	Сечение №1 МЭС	ПУР	P	●	●	124,49	290	30	320	645	195,51	33,9%			15,2 °C	ДДТ...	Пензенское РДУ
●	Допустимая нагрузка Пензенской ТЭЦ-1	ПУР	P	●	●	103,15	273,83	10	283,83	9999	180,68	36,3%			14,1 °C	-	Пензенское РДУ
●	Пензенская ЭС – Мордовская ЭС	ПУР	P	●	●	123,91	331,76	15	346,76	495	222,86	5,7%			14,1 °C	ДДТ...	Пензенское РДУ
●	Саратовская ЭС – Пензенская ЭС	ПУР	P	●	●	145,48						0%					Пензенское РДУ

Рис. 5. Система контроля перетоков и ограничений в сечениях

С развитием систем мониторинга и контроля повышаются и требования к ним – выходят новые стандарты, разрабатывается новое высокотехнологичное оборудование, происходит цифровизация энергообъектов, расширяются программы системы сбора и получения информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила технологического функционирования электроэнергетических систем, утвержденные Постановлением Правительства Российской Федерации № 937 от 13.08.2018.
2. АО «Системный оператор Единой энергетической системы». URL: <https://www.sops.ru/>
3. СТО 59012820.35.240.50.004–2011. Системы диспетчерского управления в электроэнергетике. Система сбора данных и оперативного контроля (SCADA) в диспетчерском управлении. М., 2011.
4. Методические указания по устойчивости энергосистем : требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок : утв. приказом Минэнерго России от 03.08.2018 № 630.
5. ГОСТ Р 57114–2016. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электроэнергетические системы. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике и оперативно-технологическое управление. Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2016.

МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ

Сергей Васильевич Пономарев

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

При выборе оптимальных значений режимных параметров методов и основных конструкционных размеров устройств для измерения теплофизических свойств (ТФС)

веществ необходимо правильно задать целевую функцию (функционал), используемую при постановке и решении задачи оптимизации. От результатов этой работы зависит успешное выполнение работ по решению задач оптимизации проектируемых методов и устройств для измерения ТФС веществ и материалов.

На кафедре «Мехатроника и технологические измерения» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» накоплен опыт [1–15] проектирования методов и устройств для измерения ТФС веществ на основе решения задач оптимизации с использованием целевых функций, для получения которых (с применением методов математической метрологии, теории погрешностей и математической физики) рекомендуется использовать следующую методологию практического порядка выполнения действий:

1) в виде схемы (или чертежа) надо представить физическую модель устройства [1–8, 10–15] для осуществления проектируемого и разрабатываемого метода измерения ТФС веществ;

2) с применением методов математической физики (чаще всего, методов теории теплопроводности или массопереноса [1–4, 6–11]) следует записать постановку прямой краевой задачи теплопроводности, описывающую температурное поле внутри образца материала при проведении экспериментального измерения ТФС; примеры таких работ проведены в публикациях [1–4, 6–11, 14, 15];

3) путём решения прямой краевой задачи теплопроводности надо получить её аналитическое решение в виде формул, позволяющих рассчитывать температурное поле внутри образца исследуемого материала, например так, как это показано в [1, 3, 4, 6–10, 14, 15];

4) на основе полученного решения прямой краевой задачи теплопроводности, следует получить расчётные формулы для вычисления искомых ТФС по экспериментальным данным, определяемым в процессе измерения этих ТФС; примеры получения таких результатов приведены в [1, 3, 4, 6–11, 14, 15]; следует отметить, что иногда возможно получение таких расчётных формул на основе постановки прямой краевой задачи теплопроводности без использования её аналитического решения, например так, как это показано в [1, 14, 15];

5) с использованием полученных расчётных формул для вычисления искомых ТФС (путём применения методов математической метрологии и теории погрешностей [1–11]) – надо получить целевые функции (в виде формул для вычисления среднеквадратичных оценок относительных погрешностей косвенных измерений искомых ТФС), обычно зависящие от: а) режимных параметров проведения процесса измерения; б) основных конструктивных размеров измерительного устройства; в) параметров применяемого алгоритма обработки экспериментальных данных; г) погрешностей измерения физических величин, непосредственно определяемых в процессе эксперимента; примеры получения формул для вычисления среднеквадратичных оценок относительных погрешностей косвенных измерений искомых ТФС – приведены в [1, 3–7, 10, 12, 13];

6) в дальнейшем эти формулы (для вычисления среднеквадратичных оценок относительных погрешностей косвенных измерений искомых ТФС) используют в качестве целевых функций при математическом моделировании погрешностей измерения ТФС [1, 3–7, 10, 12, 13] и решении задач оптимизации методов и устройств для измерения искомых ТФС; в результате решения задачи оптимизации, как правило, определяют наилучшие (обеспечивающие минимизацию погрешностей измерений искомых ТФС измеряемых веществ и материалов) значения: а) режимных параметров проведения процесса измерения; б) основных конструктивных размеров измерительного устройства; в) параметров применяемого алгоритма обработки экспериментальных данных; г) погрешностей измерения физических величин, непосредственно определяемых в процессе эксперимента по измерению искомых ТФС; примеры математического моделирования

погрешностей измерений и решения задач оптимизации методов и устройств для измерения ТФС приведены в [1, 3–7, 10, 12, 13];

7) с учётом результатов решения задачи оптимизации, следует сформулировать практические рекомендации по осуществлению как режимных параметров разработанного нового метода измерения ТФС, так и основных (базовых) конструктивных размеров устройства для осуществления этого метода; как правило, эти сформулированные практические рекомендации могут быть использованы в качестве основы при записи формулы изобретения и последующей подаче заявки на изобретение с целью защитить результаты выполненной работы (исследования) патентом; пример выполнения такой работы можно увидеть в публикациях [6–8];

8) следует отметить, что после изготовления опытного образца измерительного устройства и экспериментальной проверки разработанного нового метода измерения ТФС веществ (с использованием эталонных материалов с известными теплофизическими свойствами), в алгоритм для обработки экспериментальных данных, как правило, приходится включать методику введения поправок [9] на систематические погрешности измерений ТФС.

В докладе будет приведён пример применения сформулированных выше методических рекомендаций, использованных при разработке метода линейного импульсного источника теплоты [6–].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев С. В., Мищенко С. В., Дивин А. Г. [и др.]. Теоретические и практические основы теплофизических измерений : монография / под ред. С. В. Пономарева. М. : ФИЗМАТ-ЛИТ, 2008. 408 с.
2. Беляев В. П., Мищенко С. В., Беляев П. С. Неразрушающий контроль коэффициента диффузии в одноосно-армированных изделиях из пористых материалов // Инженерно-физический журнал. 2019. Т. 92, № 5. С. 2410–2414.
3. Gurov A. V., Sosedov G. A., Ponomarev S. V. The choice of the optimum conditions for measuring the thermal properties of materials by the plane «instantaneous» heat source method // Measurement Techniques. 2012. Vol. 55, № 10. P. 1187–1192.
4. Пономарев С. В., Исаева И. Н., Мочалин С. Н. О выборе оптимальных условий измерения теплофизических свойств веществ методом линейного «мгновенного» источника тепла // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2010. Т. 76, № 5. С. 32–36.
5. Мочалин С. Н., Пономарев С. В. Измерение характеристик влагопереноса тонколистых капиллярно-пористых материалов методом «мгновенного» источника влаги : монография. М. : Спектр, 2010. 100 с.
6. Пономарев С. В., Буланова В. О., Дивин А. Г., Буланов Е. В. Оптимизация измерения теплофизических параметров теплоизоляционных материалов методом линейного импульсного источника теплоты // Метрология. 2017. № 2. С. 10–19.
7. Буланова В. О. Разработка метода линейного импульсного источника теплоты для определения теплофизических свойств твёрдых материалов : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13. Тамбов, 2020. 123 с.
8. Пат. 2613194 Российская Федерация, МПК G01N 25/18. Способ измерения теплофизических свойств анизотропных материалов методом линейного импульсного источника теплоты / Пономарев С. В., Буланова В. О., Дивин А. Г. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». № 2015147065 ; заявл. 02.11.2015 ; опубл. 15.03.2017, Бюл. № 8. 17 с.
9. Пономарев С. В., Дивин А. Г., Балабанов П. В. [и др.]. Рекомендации по разработке методики введения поправок на систематические погрешности измерения теплофизических свойств веществ // Метрология. 2013. № 10. С. 38–47.
10. Пономарев С. В., Дивин А. Г., Любимова Д. А. Применение математических основ метрологии при оптимизации режимных параметров методов и основных конструктивных размеров устройств для измерения теплофизических свойств веществ : монография / под науч. ред. С. В. Пономарева. Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. 160 с.

11. Беляев В. П., Мищенко С. В., Беляев П. С. Реализация неразрушающего контроля массивных изделий при измерении коэффициента диффузии растворителей // Инженерно-физический журнал. 2017. Т. 90, № 3. С. 733–741.
12. Пономарев С. В., Мищенко С. В. Методы и устройства для измерения эффективных теплофизических характеристик потоков технологических жидкостей. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1997. 248 с.
13. Ponomarev S. V., Mishchenko S. V., Irvine T. F. Measurements of Thermophysical Properties by Laminar Flow Methods. New York : Begell House Inc., 2001. 278 p.
14. Чуриков А. А. Методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств изделий и образцов из неоднородных твёрдых материалов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.11.13. Тамбов : ТГТУ, 2000. 641 с.
15. Власов В. В., Шаталов Ю. С., Пономарев С. В. [и др.]. Теплофизические измерения. Справочное пособие по методам расчёта полей, характеристик тепломассопереноса и автоматизации измерений. Тамбов : Изд. ВНИИРТАМШ., 1975. 256 с.

ОБЗОР И АНАЛИЗ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО РЕЧЕВЫМ СИГНАЛАМ

**Алан Казанферович Алимуратов¹, Александр Юрьевич Тычков²,
Петр Павлович Чураков³**

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

В настоящее время обнаружение и классификация критических эмоциональных состояний в отраслях деятельности человека, связанных с риском возникновения техногенных и биогенных аварий с серьезными последствиями, становятся все более актуальными задачами. Потребность повышения достоверности обнаружения «человеческого фактора» значительно возрастает, если трудовая деятельность сопровождается сложными когнитивными процессами, дефицитом времени и высокой эмоциональной нагрузкой.

В данной статье представлен детализированный обзорный анализ существующих на рынке речевых технологий продуктов по распознаванию эмоций. Целью проведения обзорного анализа является формирование технических требования для системы обнаружения и классификации естественных критических эмоциональных состояний человека по речевым сигналам в экстремальных условиях. Статья является продолжением ранее опубликованных научных работ [1, 2] и подготовлена в рамках проекта № МД-1066.2022.4 «Исследование скрытых паттернов речевых сигналов и разработка способов обнаружения и классификации естественно выраженных психоэмоциональных состояний человека», финансируемого Советом по грантам Президента РФ.

Обзор содержит исследование шести продуктов, получивших широкую практическую популярность в области речевой аналитики. В широком понимании, речевая аналитика представляет собой анализ речи и смысловых высказываний собеседников, анализ голоса и его характеристик, интонационный и просодический и эмоциональных анализ, анализ окружающей среды, определения количества дикторов.

1. Система речевой аналитики «SVQA» [3], производитель: частотное предприятие «Речевые системы», страна производитель: Беларусь, г. Минск. Назначение: безопасность, бизнес (банковская сфера, контакт-центры), доступ: платный.

Система речевой аналитика «SVQA» расшифровывается как «*Speech and Voice Quality Assurance*», что дословно можно перевести как систему, обеспечивающую

качество голоса и речи. Система речевой аналитики «SVQA» предназначена для автоматизации процессов контроля качества работы операторов контакт-центров. Контроль качества выполняется на основе автоматической оценки фонограмм. Система «SVQA» осуществляет общую оценку и оценку по группам параметров: количественно-временные, лексико-семантические, эмоции и просодика. С помощью рабочего интерфейса системы «SVQA» можно наблюдать, как меняются просодические характеристики речи (интонация, громкость, ритмичность, мелодичность, скорость и джиттер). Дополнительно выводится данные диктора: пол, возраст и общая оценка речи.

2. Подсистема автоматической оценки качества «Smart Logger» многоканальной системы регистрации телефонных вызовов и речевых сообщений «НЕЗАБУДКА II» [4], производитель: группа компаний «Центр речевых технологий» (ЦРТ) (компании ЦРТ, ЦРТ-инновации и *SpeechPro*), страна производитель: Россия, г. Санкт-Петербург. Назначение: безопасность, бизнес (банковская сфера, контакт-центры), доступ: платный.

Система «Незабудка II» предназначена для записи речевой информации в целях мониторинга и обеспечения качества производственных и бизнес-процессов. Система позволяет реализовать любые практические решения для регистрации телефонных переговоров и речевых сообщений в сфере корпоративной и общественной безопасности, бизнесе, на предприятиях промышленного производства, транспорта и энергетики. Подсистема «Smart Logger» предназначена для оценки качества по четырем аспектам речевой информации: события и действия на линии, речевая активность дикторов, распознавание речи и анализ эмоций.

3. Профессиональная система диагностики голоса и речи «lingWAVES» [5], производитель: компания *WEVOSYS medical technology GmbH*, страна производитель: Германия, г. Баунах (*Baunach, Germany*). Назначение: медицина, доступ: платный.

Профессиональная система «lingWAVES» представляет собой целостную систему с программным обеспечением и проверенным и стандартизированным оборудованием. Система состоит из различных модулей, управляемых пользовательским интерфейсом «lingWAVES basis». Менеджер по работе с клиентами позволяет проводить анализ и документацию на основе пациента/клиента с возможностью сравнения и отслеживания результатов с течением времени. Модульный характер «lingWAVES» позволяет предлагать различные комбинации модулей (наборы), чтобы широкий круг профессиональных пользователей мог использовать систему, начиная с речевой и языковой терапии, анализа эмоционального состояния, отоларингологии / ЛОР-терапии и заканчивая услугами для профессиональных певцов и ораторов. Доступны различные акустические модули – каждый модуль может быть обновлен с помощью модуля назальности и/или электроглоттографии – с использованием одного и того же управления клиентами.

4. Технология анализа голоса «Sense» [6], производитель: компания «NemeSYSCO», страна производитель: Израиль. Назначение: безопасность, бизнес (банковская сфера, контакт-центры), доступ: платный.

«Sense» – технология многослойного анализа голоса для оценки тонких изменений в речи исследуемого лица на предмет обнаружения в нем объективных признаков неискренности и различных проявлений эмоционального напряжения и когнитивного стресса. При анализе голоса различными алгоритмами обрабатывается более 160 параметров. «Sense» – технология, анализируя разные слои в голосе и проводя глубокий анализ круга эмоций субъекта, может определить, взволнован ли ваш собеседник, смущен, напряжен, неохотно делится информацией, сосредоточен и многое другое.

5. Технологии для анализа эмоций по голосу «Empath» / «Web Empath API» / «SDK Empath API» / «Beluga Box» / «Emo Value Generator» [7], производитель: компания «Empath Inc.», страна производитель: Япония, г. Токио (*Japan, Tokyo*). Назначение: бизнес (банковская сфера, контакт-центры), доступ: платный.

Таблица 1

Основные потребительские параметры коммерческих продуктов распознавания эмоций на рынке речевых технологий

Наименование / Тип доступа	Язык(и)	Виды эмоций / Характер выражения эмоций	Достоверность обнаружения и классификации	Функционал / Назначение	Производитель / Стоимость	Условия регистрации речевых данных
Система речевой аналитики «SVQA» / Тип доступа: закрытый, платный	Английский, русский, белорусский	Положительные, отрицательные и нейтральные эмоции / вынужденные эмоции	Не менее 90 %	Оценка качества речи, оценка эмоциональной составляющей речи / Безопасность, бизнес (банковская сфера, контакт-центры)	Частное предприятие «Речевые системы» https://svqa.ru Беларусь, г. Минск / По запросу	Телефонный канал, записанные фонограммы
Подсистема автоматиче- ской оценки качества «Smart Logger» много- канальной системы ре- гистрации телефонных вызовов и речевых сообщений «НЕЗАБУДКА II» / Тип доступа: закрытый, платный	Английский, русский,	Радость, удивление, печаль, страх, гнев, отвращение / вынужденные и естественные эмоции	α – не более 10 %, β – не более 5 %	Распознавание речи, идентификация личности по речи, поиск ключевых слов, оценка эмоциональной составляющей речи / Безопасность, бизнес (банковская сфера, контакт-центры)	Группа компаний «Центр речевых технологий» (ЦРТ) (компания ЦРТ, ЦРТ-инновации и <i>SpeechPro</i>) https://www.speechpro.ru Россия, г. Санкт-Петербург / По запросу	Телефонный канал, записанные фонограммы
Профессиональная система диагностики голоса и речи «lingWAVEs» / Тип доступа: закрытый, платный	Английский, немецкий, французский, испанский, итальянский	Радость, удивление, печаль, страх, гнев, отвращение / естественные эмоции		Речевой и языковая терапия, анализ эмоционального состоя- ния, отоларингология / ЛОР-те- рапия, терапия для профессио- нальных певцов и ораторов / медицина	Компания <i>WEVOSYS</i> <i>medical technology</i> <i>GmbH</i> https://www.wevosys.com Германия, г. Баунах / По запросу	Специализированное микрофонное оборудование для регистрации речевых сигналов
Технология анализа голоса «Sense» / Тип доступа: закрытый, платный	Английский, иврит	Радость, удивление, печаль, страх, гнев, отвращение / вынужденные и естественные эмоции	Не менее 92 %	Оценка качества речи, оценка эмоциональной составляющей речи / Безопасность, бизнес (банковская сфера, контакт- центры)	Компания «NemeSYS CO» https://www.nemesysco.com Израиль / По запросу	Телефонный канал, записанные фонограммы

Окончание табл. 1

Наименование / Тип доступа	Язык(и)	Виды эмоций / Характер выражения эмоций	Достоверность обнаружения и классификации	Функционал / Назначение	Производитель / Стоимость	Условия регистрации речевых данных
Технологии для анализа эмоций по голосу « <i>Empath</i> » / « <i>Web Empath API</i> » / « <i>SDK Empath API</i> » / « <i>Beluga Box</i> » / « <i>Emo Value Generator</i> » / Тип доступа: закрытый, платный	Английский, японский	Положительные, отрицательные и нейтральные эмоции / вынужденные и естественные эмоции	–	Распознавание и генерация речи, анализ и оценка эмоциональной составляющей речи / Бизнес (банковская сфера, контакт-центры)	Компания « <i>Empath Inc.</i> » https://www.webempath.com Япония, г. Токио / По запросу	Телефонный канал, записанные фонограммы
Технология аналитики речи « <i>SmartSpeech</i> » / Тип доступа: закрытый, платный	Русский	Положительные, отрицательные и нейтральные эмоции / вынужденные и естественные эмоции	Не менее 90 %	Распознавание и генерация речи, анализ и оценка эмоциональной составляющей речи / Бизнес (банковская сфера, контакт-центры)	Компания ПАО «Сбербанк» https://sberdevices.ru Россия, г. Москва / По запросу	Телефонный канал, записанные фонограммы

«Empath» – это технология на основе искусственного интеллекта, предназначенная для анализа эмоциональной составляющей вербальных разговоров из аудиофайлов. «Web Empath API / SDK Empath API» – это технология с API для анализа эмоций по голосу, которую используют более 2000 компаний в 50 странах мира. Технология используется для определения эмоций и настроения на основе речевых параметров. «Beluga Box» – это интеллектуальный механизм эмоционального общения для центров обработки вызовов. Beluga Box – это технология REST API, которая использует данные о звонках, хранящиеся на серверах, и выводит результаты анализа путем количественной оценки удовлетворенности клиентов, эмоций и звуковых характеристик (скорость речи / разговора и стиль речи / разговора). Система используется для повышения уровня удовлетворенности клиентов, обслуживания операторов и качества реагирования в центрах обслуживания клиентов. «Emo Value Generator» – это технология для анализа эмоций и звука для Windows. Технология мгновенно анализирует большое количество голосовых данных и выявляет уровни удовлетворенности клиентов на основе анализа эмоций и речи.

6. Технология аналитики речи «SmartSpeech» [8], производитель: компания ПАО «Сбербанк», страна производитель: Россия, г. Москва. Назначение: бизнес (банковская сфера, контакт-центры), доступ: платный.

Технология аналитики речи «SmartSpeech» предназначена для контакт-центров и телемаркетинга, позволяет полностью отказаться от услуг операторов. «SmartSpeech» включает в себя GPU систему распознавания речи с уникальными декодером и акустической моделью. Технология обеспечивает определение паузы, конец высказывания, эмоции диктора и знаки препинания, озвучивание сложных текстов (цифры, адреса, названия).

В табл. 1 представлены основные потребительские параметры коммерческих продуктов распознавания эмоций на рынке речевых технологий. В рамках анализа, наибольший интерес представляют алгоритмы, способы, методы и средства обработки эмоциональных речевых сигналов, а также структура системы классификации отрицательных, нейтральных и положительных эмоциональных состояний человека. Однако в силу коммерческой тайны производители не предоставляют данную информацию. Данный сравнительный анализ не претендует на полноту и демонстрирует многообразие, достоинства и недостатки аналогичных продуктов на рынке речевых технологий. Подробное описание перечисленных выше продуктов можно найти на сайтах производителей. В соответствии с результатами сравнительного анализа можно сделать вывод, что повышение достоверности обнаружения и классификации критических эмоциональных состояний человека в экстремальных условиях может быть достигнуто за счет совершенствования и разработки новых методов и средств обработки и анализа речевых сигналов, обеспечивающих повышение достоверности фильтрации, сегментации, выделения информативных параметров, релевантных эмоциональным состояниям. А также за счет разработки оригинальной структуры системы, позволяющей повысить достоверность и снизить уровень ошибок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимуратов А. К., Тычков А. Ю., Юскаев М. И. [и др.]. Способ классификации естественных эмоциональных состояний человека по речи на основе рекуррентной нейронной сети // Биомедицинская радиотехника. 2023. Т. 26, № 4. С. 73–84.
2. Алимуратов А. К. Программно-аппаратная реализация системы обнаружения и классификации эмоциональных состояний человека по речевым сигналам в экстремальных условиях // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2 (44). С. 116–128.
3. Система речевой аналитики «SVQA». URL: <https://svqa.ru> (дата обращения: 02.10.2023).
4. Подсистема автоматической оценки качества «Smart Logger» многоканальной системы регистрации телефонных вызовов и речевых сообщений «НЕЗАБУДКА II». URL: <https://www.speechpro.ru> (дата обращения: 02.10.2023).

5. Профессиональная система диагностики голоса и речи «lingWAVES». URL: <https://www.wevosys.com> (дата обращения: 02.10.2023).

6. Технология анализа голоса «Sense». URL: <https://www.nemesysco.com> (дата обращения: 02.10.2023).

7. Технологии для анализа эмоций по голосу «Empath» / «Web Empath API» / «SDK Empath API» / «Beluga Vox» / «Emo Value Generator». URL: <https://www.webempath.com> (дата обращения: 02.10.2023).

8. Технология аналитики речи «SmartSpeech». URL: <https://sberdevices.ru/smartspeech> (дата обращения: 02.10.2023).

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ АЭРОПОННЫМ СПОСОБОМ

**Алина Дмитриевна Сашина¹, Анастасия Олеговна Березина²,
Никита Алексеевич Майданов³, Михаил Андреевич Давыдов⁴,
Алан Казанферович Алимуратов⁵**

^{1,2,3,4,5}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Площадь земельных угодий, предназначенных для выращивания растений, с каждым сокращается из-за множества факторов: ухудшения экологической обстановки, изменения климата, техногенных и биогенных чрезвычайных происшествий, приводящих к бесплодию почвы и др. Традиционные способы выращивания растений перестают давать необходимое количество биомассы для питания отдельных регионов нашей страны. В связи с этим актуальным является исследование существующих способов выращивания и разработка новых решений, способствующих повышению эффективности получения биомассы растений [1, 2].

На сегодняшний день наиболее популярными способами выращивания являются:

1. Способ на основе традиционного земледелия (в том числе классические теплицы).

2. Способ на основе гидропонных систем (выращивание растений без почвы):

- фитильная система;
- система водного культивирования;
- система приливов и отливов;
- капельная система;
- система на основе технологии питательной пленки;
- аэропонная система.

Статья подготовлена в рамках проекта «Разработка и исследование аэропонической системы выращивания растений в условиях городской среды», финансируемого по договору № ХП-415/23 на выполнение научно-исследовательской работы от 03.04.2023 и является продолжением ранее опубликованных научных работ [3-5].

В табл. 1 представлены результаты сравнительного анализа видов гидропонных систем. Оценка качества параметров гидропонных систем носит субъективный характер. Большее количество плюсов («+») демонстрирует высокую качественную оценку параметра.

В соответствии с данными в табл. 1 можно сделать вывод, что наиболее эффективной является аэропонная система выращивания растений.

Сравнительный анализ видов гидропонных систем

Вид системы / Наименование параметра	Фитильная система	Система водного культивирования	Система приливов и отливов	Капельная система	Система на основе технологии питательной пленки	Аэропонная система
Эффективность усвоения питательных веществ	+	++	++++	++	++++	+++++
Требование к техническому обслуживанию	+	+	++	++	+++	+++
Компактность размещения	++	+	+++	++++	++++	+++
Урожайность	++	++	+++	+++	+++	+++++

Предложены новые технические решения для информационно-измерительной и управляющей системы аэропонного способа выращивания растений:

1) Искусственный интеллект

Большим недостатком аэропонного способа являются затраты на электричество – на это тратится от 40 % всех расходов на теплицу. Например, ферма компании *Agritecture* площадью около 2,8 тыс. кв. м в пригороде Нью-Йорка ежегодно расходует не менее \$ 216 тыс. на освещение и электричество и еще \$120 тыс. на вентиляцию и кондиционирование [6]. Подобную проблему возможно минимизировать благодаря использованию искусственного интеллекта (искусственных нейронных сетей), который способен подбирать специальные режимы работы (для конкретного растения) и по возможности сокращать затраты на электроэнергию.

Алгоритмы искусственного интеллекта будут «стараться» сопоставить фактические условия и данные, чтобы соответствовать одной или нескольким закономерностям, и проанализировать, какой режим работы обеспечил, например, наилучший суточный рост биомассы (или некоторый другой важный параметр). Что немаловажно, алгоритмы искусственного интеллекта всегда точно настраивают режимы работы и будут «учиться» на новом опыте, который обеспечил лучшие прогнозы, чем предыдущий.

Алгоритмы искусственного интеллекта осуществляют сбор данных теплицы, чтобы иметь возможность настроить режимы работы и сопоставить их с действиями и производственными результатами. Этот процесс может длиться от 10 до 14 месяцев, так как алгоритмы должны быть в состоянии подготовить множество режимов работы из собранных данных, взаимодействий и результатов. Алгоритмы искусственного интеллекта предложат уникальные решения для увеличения производительности теплицы. Например, увеличить световой день на 15 минут или начать орошение в 7.00 и уменьшить период полива на 0,2 секунды.

Также при отсутствии оператора искусственный интеллект может взять управление и контроль на себя. Если вдруг объём воды и питательной смеси в баке достиг определённого минимума, то искусственный интеллект проанализирует ситуацию, pošлет оператору уведомление и увеличит промежуток между поливами, чтобы минимизировать последствия и дать растениям прожить как можно дольше.

На рис. 1 представлен пример архитектуры искусственного интеллекта для информационно-измерительной и управляющей системы аэропонного способа выращивания растений на основе искусственных нейронных сетей.

2) Биодатчик

Для повышения эффективности алгоритмов искусственного интеллекта предложен специализированный биодатчик, предназначенный для мониторинга биологического состава растений и их общего состояния. Датчик представляет собой тонкую пластину из флуоресцентного полимера, на котором нанесён карбоновый слой и двойной ферментный слой, для снятия уровня необходимых параметров состава растения. Если стандартные показатели веществ меняются, то ток на сенсорах также изменяется, тем самым подавая сигналы об изменениях на контроллер. Благодаря этому возможно вовремя предпринять необходимые действия и тем самым предотвратить гибель урожая. Датчик размером 1×2 мм можно вживлять в корешки контрольных растений. Это решение дополняет информационно-измерительную и управляющую системы аэропонного способа выращивания растений, обеспечивая дополнительную автоматизацию.

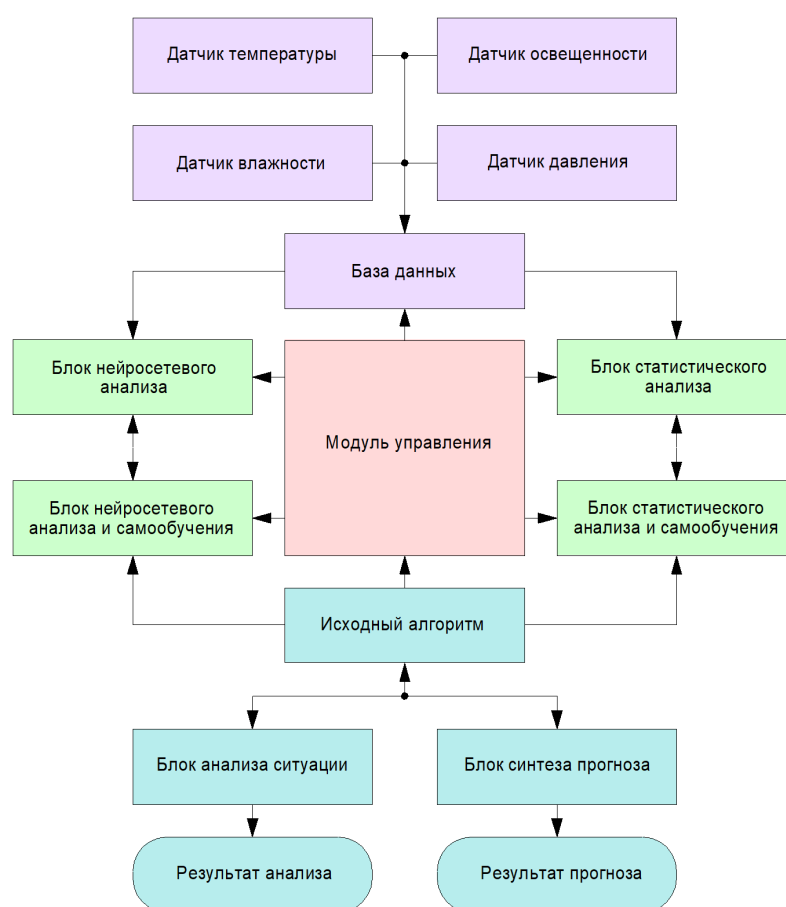


Рис. 1. Архитектура искусственного интеллекта для информационно-измерительной и управляющей системы аэропонного способа выращивания растений

Внедрение предложенных технических решений выведен аэропонный способ выращивания растений на новый уровень. Используемые алгоритмы искусственного интеллекта и специализированные датчики (вживляемые в корешки контрольных растений) в информационно-измерительной и управляющей системе аэропонного способа выращивания растений обеспечат:

- повышение эффективности усвоения питательных веществ;
- уменьшение требований к техническому обслуживанию;

- компактность размещения;
- повышение урожайности.

В перспективе актуальным является внедрение в информационно-измерительную и управляющую систему аэропонного способа выращивания растений компьютерного зрения, обеспечивающего дополнительный контроль рост биомассы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каун О. Ю., Озеров И. Н. Обоснование параметров микроклимата сооружений защищенного грунта // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 3 (24). С. 49–52.
2. Степанчук Г. В., Юдаев И. В., Жарков А. В. Энергоэффективная система облучения в теплице // Вестник аграрной науки Дона. 2016. № 1 (33). С. 5–12.
3. Сашина А. Д. Разработка и исследование аэропониической системы выращивания растений // Седьмой всероссийский молодежный научный форум «Наука будущего – наука молодых»: сб. тез. докл. участников (г. Новосибирск, 23–26 августа 2022 г.). Новосибирск, 2022. С. 25–26.
4. Сашина А. Д., Майданов Н. А., Березина А. О. Умная теплица «SMART GREENHOUSE» // От зеленого кампуса – к зеленому городу. 2022. С. 46–63.
5. Сашина А. Д., Майданов Н. А., Березина А. О., Овчинников Д. Л. Система выращивания растений // Междисциплинарные исследования науки и техники: сб. тез. докл. XVII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Саратов, 20 декабря 2022 г.). Саратов, 2022. С. 266–269.
6. Калугина А. Как нейросети помогают выращивать овощи и кто такой электронный агроном // РБК. Тренды. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5fbfcb0f9a7947ce58d7d3b3>

РЕГИСТРАЦИЯ ПРЕТЕНЗИЙ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕТЕНЗИЯМИ И РЕКЛАМАЦИЯМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

**Елена Васильевна Кирюшкина¹, Светлана Павловна Прокопчук²,
Инна Анатольевна Кострикина³**

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

В настоящее время работа по рассмотрению жалоб на качество фармацевтической продукции, поступающих в адрес предприятий-производителей конкретной продукции, регулируется «Правилами надлежащей производственной практики евразийского экономического союза», утвержденных Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 3 ноября 2016 г. № 77 и Федеральным законом от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ (ред. от 29.07.2017г.) «О техническом регулировании».

Обязанностью производителя является создание на предприятии системы управления претензиями и рекламациями, а также разработка письменных процедур, содержащих порядок действий, которые необходимо предпринять при получении жалобы от потребителя [1].

На предприятии должно быть назначено ответственное лицо за организацию работы с претензиями [1]. Как правило, это сотрудник службы обеспечения качества – координатор работы с претензиями (далее Координатор).

Система управления претензиями состоит из нескольких последовательных этапов, результатом которых является принятие решения о дальнейших действиях в отношении серии, на которую получена претензия [2].

Первый и очень важный этап – это прием и регистрация претензии. От того насколько подробно описана поступившая претензия в значительной степени зависит ход работы и даже результат расследования причин возникновения претензии, а в конечном итоге и необходимость осуществления отзыва несоответствующей продукции с рынка [3].

В момент получения претензии, особенно если претензия поступила по телефону, важно не растеряться и получить от потребителя максимум информации о выявленном или предполагаемом дефекте.

Оптимальным решением является разработка унифицированной формы, содержащей основные вопросы, необходимые для выяснения сути претензии. Данной форме можно присвоить название, например, претензионный лист.

Минимальная информация, перечисленная ниже, но, не ограничиваясь таковой, должна быть получена от заявителя и занесена в претензионный лист:

I. Дата получения претензии.

II. Способ поступления: телефон, факс, e-mail, почта (письмо), другое (указать).

III. Сведения о заявителе.

ФИО заявителя, его социальный статус (пациент или его члены семьи, фармацевт, врач, дистрибьютор и пр.), наименование учреждения (больница, аптека, аптечный склад, оптовый склад, регуляторный орган и др.), представителем которого является заявитель (если применимо), почтовый адрес, e-mail, телефон (рабочий, домашний, сотовый).

IV. Информация о препарате:

– наименование препарата, лекарственная форма (таблетки, мазь, суппозитории (ректальные, вагинальные), раствор (инфузионный, инъекционный), порошок для приготовления раствора для инъекций (здесь важно указать какой применялся растворитель и в каком объеме) и др. формы в зависимости от выпускаемой номенклатуры; номер серии, срок годности;

– подробно описать характер претензии (замечания по описанию препарата, упаковке, маркировке, эффективности препарата, другое);

– указать место приобретения препарата, кем был назначен препарат и в течение какого времени применялся;

– выяснить проводилась ли сопутствующая терапия (указать наименование лекарственных препаратов, применяемых одновременно с данным препаратом); выяснить возможна ли отправка заявителем образца продукта, по которому предъявлена претензия в адрес производителя; указать запрашивал ли заявитель денежную компенсацию.

V. Информация о развитии нежелательной реакции: указать информацию о поле и возрасте пациента, путь введения препарата; описать реакцию от применения препарата; указать даты начала и разрешения нежелательной реакции; отметить принятые меры (отмена препарата, отмена сопутствующей терапии, снижение дозы препарата, лекарственная терапия); отметить исход реакции (полное выздоровление, выздоровление с последствиями, улучшение состояния, состояние без изменения).

VI. Повторная связь с заявителем.

В заключении необходимо обозначить собеседнику сколько времени на предприятии регламентировано процедурой рассмотрения поступающих претензий для выяснения причин возникновения жалобы и принятия окончательного решения в ее отношении, выяснить кем (заявителем или представителем предприятия-изготовителя лекарственного средства) и посредством чего (телефон, почта, e-mail) будет осуществлена повторная связь с целью оповещения заявителя о результатах расследования, а также выяснить каким образом и в какое время будет удобно осуществить повторную связь, если понадобится уточнить вопросы в отношении претензии, возникшие в ходе расследования. Всю информацию отразить в претензионном листе, указать ФИО, должность и поставить подпись.

VII. Результат повторной связи с заявителем.

Указывается дата, инициатор повторной связи, описывается результат связи, указывается ФИО, должность и подпись представителя предприятия-производителя, осуществившего повторную связь.

Претензии на качество лекарственных средств могут быть получены от Федеральной службы Росздравнадзора (ФС РЗН) (рекламация); медицинских работников и органов здравоохранения, государственных органов и учреждений контроля; потребителей

(пациентов, членов их семьи); аптек / аптечных складов; дистрибьюторов; юридических лиц по качеству произведенной предприятием продукции, связанной с дефектами, возникшими при транспортировании продукции и пр.

Наиболее вероятными каналами поступления претензий (либо в устной, либо в письменной форме или с помощью электронных средства) могут являться: телефон, электронная почта, электронный адрес официального сайта производителя, указанные на индивидуальной упаковке; круглосуточный телефон горячей линии; официальный сайт ФС РЗН; электронная почта, сервис «обратная связь», указанные на официальном сайте производителя; почтовые сообщения; служба по сбыту продукции; фармаконадзор.

Исходя из вышеизложенного можно предположить, что работников, которые могут принять претензию, несколько, например, информацию по претензии, поступившую:

- **на официальный сайт предприятия**, может принять сотрудник отдела по маркетингу;
- **на телефон, указанный на индивидуальной упаковке** - сотрудник службы качества;
- **на электронную почту предприятия** - секретарь руководителя;
- **на круглосуточный телефон горячей линии** - дежурный диспетчер;
- **на телефон в службу по сбыту продукции** - сотрудник службы;
- **на официальный сайт ФС РЗН** - Координатор, осуществляющий ежедневный контроль размещенных писем на сайте ФС РЗН с целью принятия оперативных мер по расследованию рекламации;
- **в Автоматизированную систему «Фармаконадзор»** – специалист по фармаконадзору.

Получатели информации о претензии по факту ее получения должны в режиме реального времени заполнить претензионный лист и, с целью оперативного доведения информации о полученной претензии в зависимости от сути жалобы (дефект качества или сообщение о нежелательном явлении) посредством электронных средств связи, направить скан-копию Координатору или специалисту по фармаконадзору. Получатель информации должен в течение установленного процедурой времени передать оригинал претензионного листа Координатору.

Сотрудники предприятия, ответственные за прием сообщений должны знать как правильно вести разговор с предъявителем претензии, заполнять претензионный лист, поэтому на предприятии целесообразно с определенной периодичностью проводить соответствующее обучение и тренинги.

Заполнение Претензионного листа можно осуществлять вручную путем заполнения формы, либо с применением программного обеспечения при наличии такового на предприятии. Если принято решение прием первичной информации о претензии от заявителя регистрировать с применением электронных технологий, то во избежание форс-мажорных обстоятельств рекомендуется иметь на рабочих местах бланки претензионных листов на бумажном носителе.

С целью обеспечения прослеживаемости и поддержания документации в актуальном состоянии необходимо вести учет выданных бланков претензионного листа.

После оформления или получения претензионного листа Координатор присваивает полученной претензии уникальный код и регистрирует ее в журнале регистрации претензий.

После регистрации претензии, если локальными документами предприятия не оговорено иное, Координатор или специалист по фармаконадзору доступным способом должны проинформировать заявителя о том, что претензия получена и будет расследована.

С момента получения информации о претензии необходимо сформировать отдельную папку (в бумажном и электронном формате) с дальнейшим вложением материалов по расследованию.

Таким образом, путем разработки в системе управления претензиями и рекламациями на качество выпускаемой продукции необходимого инструмента для регистрации

первичной информации от потребителя о выявленных дефектах как посредством электронных систем, так и на бумажном носителе, наличия обученного персонала в области управления претензиями можно значительно улучшить качество работы в этой области и избежать дополнительных временных затрат на выяснение у заявителя недостающей информации о претензии и, как следствие, оперативнее завершить работу по расследованию претензии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила надлежащей производственной практики : утв. решением Совета Евразийской экономической комиссии № 77 от 03.11.2016 (ред. от 14.07.2021). URL: <https://docs.cntd.ru/document/456026099>
2. О техническом регулировании : федер. закон № 184-ФЗ от 27.12.2002. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901836556>
3. Кострикина И. А., Кирюшкина Е. В. Методика отзыва недоброкачественной продукции с фармацевтического рынка // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2. С. 77–83.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОТОКА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ВАКУУМНОМ СОЛНЕЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ

Валентина Александровна Хорева

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия

Процессы преобразования солнечной радиации в технических системах (рис. 1) в основные продукты жизнеобеспечения: электроэнергию, теплоту и холод положительных и отрицательных температур, – связаны с трансформацией различных по своей физической природе видов энергии, сравнительную эффективность которых можно выполнить на основе эксергетического метода с учетом волновой природы солнечного излучения.

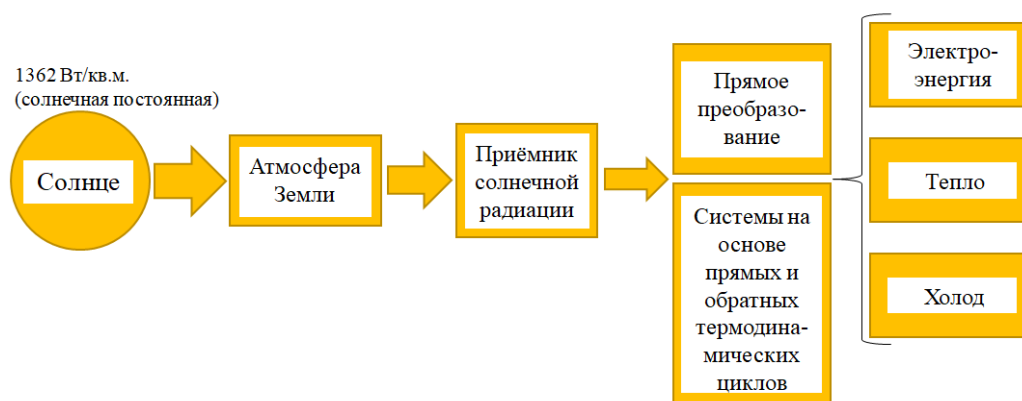


Рис. 1. Схема преобразования солнечной энергии в основные продукты жизнеобеспечения

За максимальную величину эксергии (работоспособной энергии) солнечной радиации принято значение солнечной постоянной $E_o = 1362 \text{ Вт/м}^2$ на верхней границе земной атмосферы с учетом ее дифференциального распределения по длинам волн излучения. Потери эксергетического потенциала $\Delta E_{\text{атм.}}$ солнечного излучения при прохождении через атмосферу приводят к преимущественному рассеиванию коротковолновой части начального

спектра излучения [1]. При этом на входе в приемники излучения интегральная работоспособная часть солнечного излучения снижается до величины E_1 , которая может быть принята за базовую при сравнительной оценке эффективности технических систем в земных условиях. Ее значение в зависимости от времени года и пространственного расположения солнечных технических систем на земной поверхности можно определить согласно [2].

В системе «приемник + технология» полезно используется только определенная часть волнового спектра солнечного излучения, определяющая конечную эксергетическую ценность продуктов жизнеобеспечения. Понятия электроэнергии и эксергии (работоспособной энергии) принято считать тождественными [3], а их потоки E_2 равными по величине. Эффективность работы систем прямого преобразования солнечной энергии в электроэнергию можно оценить как:

$$\eta = \frac{E_2}{E_1} = \frac{E_2}{E_o - \Delta E_{атм}} \quad (1)$$

Работоспособная часть потоков q_T теплоты и холода с температурой T может быть определена с учетом привязки к температуре окружающей среды T_{oc} :

$$E_3 = q_T \cdot \left(1 - \frac{T_{oc}}{T}\right) \quad (2)$$

На основании данных годовой работы системы (рис. 2), состоящей из вакуумного солнечного коллектора Vitosol 300-ТМ эффективной площадью $1,51 \text{ м}^2$, неподвижно установленного под углом 15° к наружной стене здания второго учебного корпуса Новосибирского государственного технического университета с ориентацией на юго-восток, и теплоизолированного бака Vitocell 360-SVSB ёмкостью 950 л определены значения эксергетических КПД при среднесуточной температуре в помещении T_{oc} для максимальной интенсивности $q_{\text{макс.}}$ нагрева воды в баке за счет солнечной инсоляции:

$$\eta_{\text{макс.}}^{\text{АТМ}} = \frac{E_1}{E_o} = 0,772 \quad (3)$$

$$\eta_{\text{макс.}} = \frac{E_3}{E_1} = \frac{q_{\text{макс.}} \cdot 0,0757}{0,772 \cdot E_o} = 0,245 \quad (4)$$

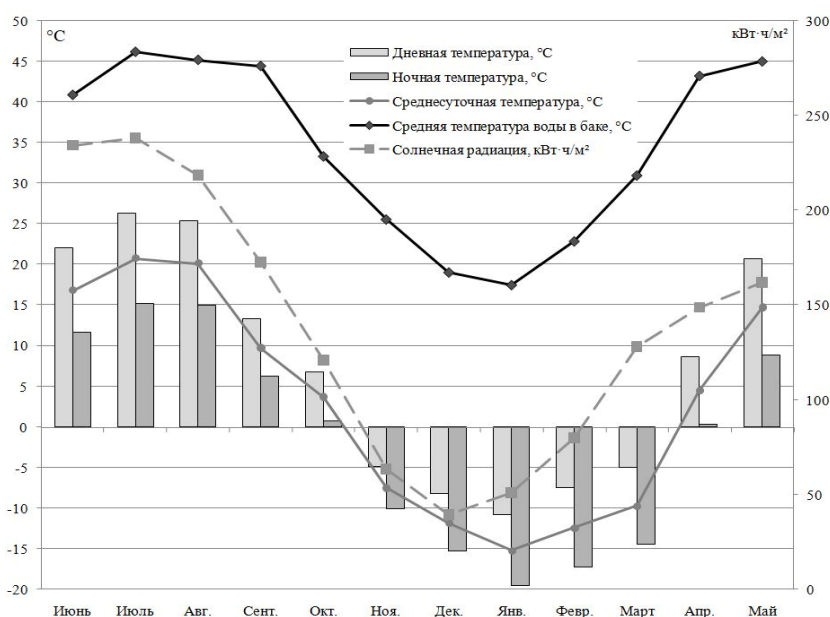


Рис. 2. Характеристики круглогодичной работы системы на основе вакуумного солнечного коллектора

Предложено использовать эксергетический метод для комплексного анализа эффективности солнечных технологий производства электроэнергии, теплоты и холода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виссарионов В. И., Дерюгина Г. В., Кузнецова В. А., Малинин Н. К. Солнечная энергетика : учеб. пособие для вузов / под ред. В. И. Виссарионова. М. : Издат. дом МЭИ, 2008. 320 с.
2. Хорева В. А. Уточненная модель расчета потока солнечного излучения // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 4. С. 44–56.
3. Янтовский Е. И. Потоки энергии и эксергии. М. : Наука, 1988. 143 с.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬ ТОКОВОЙ ПЕТЛИ

Дмитрий Викторович Якушов¹, Екатерина Анатольевна Печерская²,
Владимир Викторович Антипенко³

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Интерфейс «Токовая петля» («current loop») — это метод передачи данных с помощью заданных значений силы электрического тока. Ток, в отличие от напряжения, протекая от источника по соединительной линии, не меняет своего значения в зависимости от сопротивления нагрузки. Поэтому данный интерфейс не чувствителен к параметрам соединительного кабеля. Кроме того ток цепи не зависит от напряжения питания источника тока, а ток в сопротивлении нагрузки может меняться только из-за утечек, которые, как правило небольшие. Все эти особенности интерфейса полностью определяют направления применения – датчики, вторичные преобразователи и т.д.

Существует два вида реализации интерфейса: аналоговый и цифровой. В аналоговой версии токовой петли передача сигнала осуществляется по двум проводникам, один из которых прямой, другой – возвратный [1]. В датчиках и других преобразователях кодирование информации реализуется в смещенном диапазоне токов 4...20 мА, т.е. меньшее значение соответствует току 4 мА, а большее значение – 20 мА. Таким образом полный диапазон составляет 16 мА. Нулевое значение тока в цепи означает обрыв соединительного кабеля, а ток более 20 мА – короткое замыкание, также это может означать неисправность датчика [2]. В цифровом варианте, который был распространен в начале 1980 годов у асинхронных интерфейсов, используется два значения тока: 4 мА (логический 0) и 20 мА (логическая 1). Обобщенная схема интерфейса отражена на рис. 1.

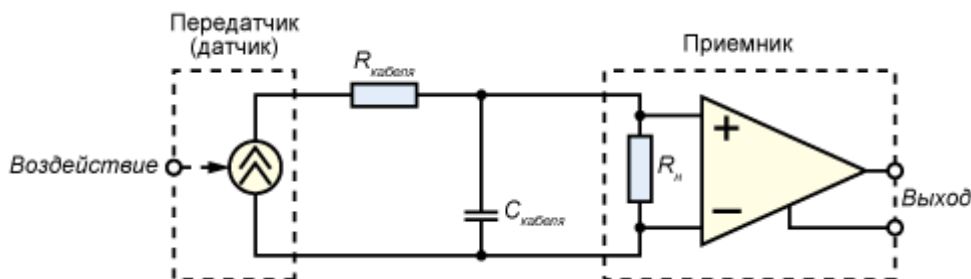


Рис. 1. Обобщенная схема интерфейса «Токовая петля»

Преимущества интерфейса токовой петли:

1. достоверность передачи не зависит от длины кабеля;
2. Источник тока возможно запитывать прямо от интерфейса;
3. высокая помехоустойчивость;

4. простота реализации, не нужно согласование источника и приемника;
5. несколько датчиков могут быть соединены последовательно.

Стоит отметить, что ЭДС емкостной утечки воздействует параллельно источнику тока, и для ослабления ее паразитного действия применяют экран. По этой причине линией передачи сигнала обычно выступает экранированная витая пара, которая, работая совместно с дифференциальным приемником, сама ослабляет синфазную и индуктивную помехи. На стороне приемника ток преобразуется в напряжение, при токе в 20 мА напряжения выбирают стандартными, но как правило нагрузочный резистор используют с сопротивлением соответственно 125, 250 или 500 Ом [2].

Зачастую датчики физических величин могут работать в очень плохой помеховой обстановке, когда мер по экранированию и организации витой пары недостаточно [6]. Либо возникает ситуация, когда датчик, имеющий на своем выходе интерфейс токовой петли имеет высоковольтный потенциал и наличие этого потенциала на принимающей стороне может привести к поломке контролирующего оборудования, либо к удару током обслуживающего персонала. Чтобы устранить эти проблемы прибегают к гальванической развязке токовой петли [3].

Гальваническая развязка – передача энергии или информационного сигнала между электрическими цепями, не имеющими непосредственного электрического контакта между ними. По способу организации гальванической развязки она разделяется на: магнитную (трансформатор), оптическую, радиоканальную, конденсаторную (передача сигнала производится на высоких частотах через разделяющие конденсаторы малой ёмкости). Поскольку в интерфейсе токовой петли подразумевается передача постоянного смещения, то передача тока напрямую через трансформатор недопустима т.к. приведет к насыщению сердечника. Радиоканальная развязка также недопустима из-за низкой помехозащищенности. Емкостная и оптоэлектронная гальваническая развязка подразумевает переход от токового непрерывного сигнала к модуляции его по частоте, амплитуде, либо ширине импульса [7, 8]. В данной статье предлагается альтернативный вариант трансформаторной гальванической развязки, в котором не производится переход на промежуточный модулированный сигнал, а передача тока происходит непосредственно на вторичную сторону [3].

Как уже было сказано ранее, напрямую передать ток от датчиков через трансформатор невозможно из-за насыщения сердечника. Это значит, что данный ток необходимо коммутировать на обмотки трансформатора с чередующейся полярностью и заданной фиксированной частотой.

Входной постоянный ток подвергается фильтрации и поступает на двухтактный преобразователь. В генераторе преобразователя формируется тактовая частота, в соответствии с которой переключаются ключевые транзисторы. Первичная обмотка трансформатора сдвоенная, обе обмотки одинаковые и включены в противофазе. При таком включении магнитный материал трансформатора не насыщается, так как направление тока в двух обмотках противоположно [4]. Результирующие характеристики можно улучшить если подбирать ключевые элементы по коэффициенту передачи. На вторичной части установлен диодный выпрямитель и фильтр. Для защиты от статического электричества применяются TVS диоды по входу и выходу схемы. В данной схеме входной ток, поочередно переключаясь, поступает на вход трансформатора. Сигнал на выходе преобразователя полностью повторяет сигнал на входе при использовании трансформатора с отношением количества витков первичной и вторичной обмоток 1 к 1. Поскольку в токовой петле 4-20 мА в цепи всегда есть начальный ток (4 мА), то его можно использовать для питания всех узлов преобразователя. В результате получается простое в реализации устройство, не требующее организации перехода на модулирующий сигнал и наличия большого количества каскадов.

Функциональная схема такого устройства показана на рис. 2.

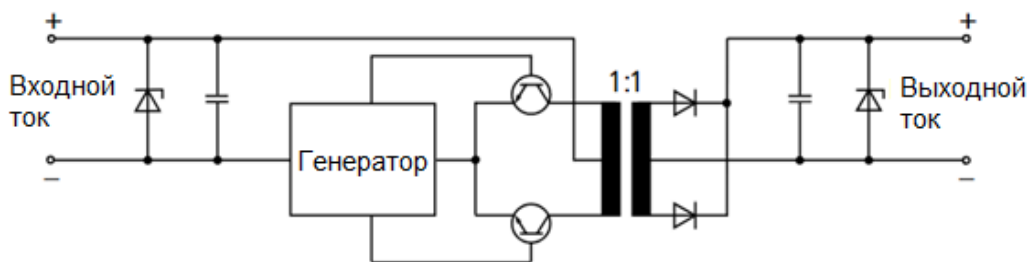


Рис. 2. Функциональная схема гальванического разделителя токовой петли

Основной путь возникновения погрешности в предложенном устройстве – это разделительный трансформатор. Качество его намотки будет сильно влиять на полученный результат. При низком качестве намотки, либо при секционной намотке на первичных и вторичных обмотках возникает высокая индуктивность рассеяния, которая способна давать высокие токовые выбросы на вторичную часть [4]. Эти выбросы заряжают выходную емкость, что проявляется в виде искаженного тока, передающегося на вторичную часть. При существенном размере (выше 0,5 % от индуктивности намагничивания) возникают нелинейности в передаче сигнала на вторичную сторону, которые сложно откалибровать. Для устранения этого недостатка необходимо применять совместную намотку первичных и вторичных обмоток трансформатора (рис. 3), либо реализовывать планарный трансформатор. При совместной намотке все витки должны быть распределены по сердечнику трансформатора.

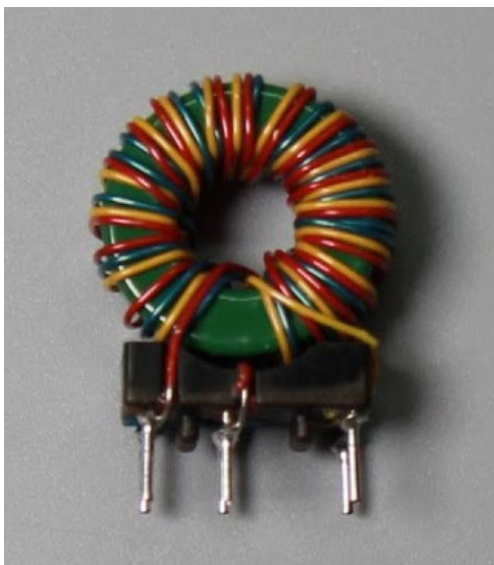


Рис. 3. Совместная намотка обмоток трансформатора

Следующий путь возникновения погрешности – утечки в ключевых, либо выпрямительных элементах. Для снижения их влияния рекомендуется применять полевые транзисторы и диоды Шоттки. Также погрешность возникает при выборе большого «мертвого» времени переключения транзисторов [5]. «Мёртвое» время – это фаза работы ключей, при котором оба транзистора находятся в закрытом состоянии (рис. 4).

«Мёртвое» время необходимо для исключения сквозных токов при переключении транзисторов. Мертвое время рекомендуется выбирать не более 1 % от времени рабочего цикла, поэтому ключевые элементы должны быть быстродействующими. С другой

стороны возможно снижение частоты преобразования, тогда 1 % от времени рабочего цикла достигаются более простыми методами, чем при повышенной частоте. Однако снижение частоты преобразования приводит к увеличению габаритов изделия, а главное, к увеличению шума на выходе, фильтруя который снижаются динамические характеристики устройства. Поэтому при выборе частоты преобразования всегда необходимо искать компромисс между стоимостью, габаритами и конечным результатом. Современные полевые транзисторы позволяют осуществлять высококачественную передачу сигнала при частоте преобразования до 100 кГц. Остальные пути возникновения погрешности легко устраняются предварительной калибровкой устройства.

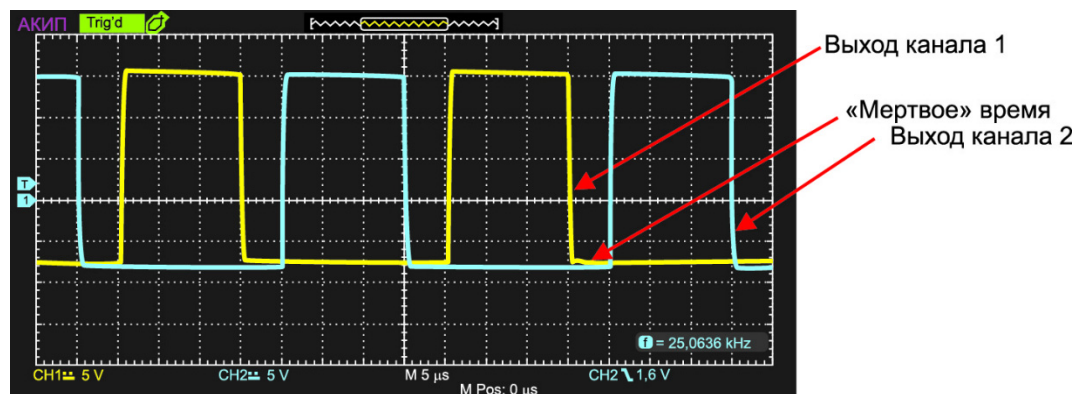


Рис. 4. «Мёртвое» время

Удовлетворив все условия, представленные выше, можно получить гальванический разделитель сигналов с погрешностью преобразования не более 0,5 % и с полосой пропускания до 20 кГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов А. Современные промышленные датчики тока // Современная электроника. 2016. № 5. С. 26–35.
2. Пономарев А. В. Приемопередатчик интерфейса 4-20 мА // Программные системы: теория и приложения. 2015. № 76. С. 441–453.
3. Стрезик К., Голубев И. Надежность и устойчивость гальванической развязки цифровых сигналов // Компоненты и технологии. 2018. № 2. С. 12–16.
4. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. М. : Мир, 1982. 512 с.
5. Каштанов В. В. Анализ фронта выходных импульсов трансформатора // Радиотехника. 1995. Т. 12. С. 38–40.
6. Воробьева Е. Ю., Крайнова К. Ю., Печерская Е. А., Бибарсова А. М. Факторы, влияющие на точность биоимпедансного анализа // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. VI Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. Пенза, 2019. С. 178–179.
7. Печерская Е. А. Математические модели предметной области при исследовании параметров материалов нано- и микроэлектроники // Университетское образование : сб. ст. XV Междунар. науч.-метод. конф., посвящ. 50-летию полета первого космонавта Ю. А. Гагарина. Пенза, 2011. С. 436–438.
8. Antipenko V. V., Pecherskaya E. A., Zinchenko T. O. [et al.]. Development of an automated bioimpedance analyzer for monitoring the clinical condition and diagnosis of human body diseases // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, 2020. P. 52075.

ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ

Сергей Сергеевич Верхушин¹, Владимир Ильич Мищенко²

^{1,2}Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

Введение

В связи с воздействием внешних факторов, усложнением процесса функционирования СТС, снижением показателей надежности в процессе их эксплуатации возникают неисправности и отказы. Также возникшие неисправности и отказы в большей части связаны с отсутствием достоверных статистических данных о неисправных элементах, ограниченным объемом испытаний, недостаточным контролем.

Существующие подходы к решению задач контроля технического состояния СТС имеют ряд недостатков, затрудняющих ее решение. Они не учитывают такие особенности процесса функционирования, к которым относятся, например, ограниченная информация о надежности в процессе эксплуатации, возможные ошибки операторов, периодические отказы и перерывы функционирования. В связи с этим актуальной является задача обоснования показателей эффективности СТС при ограниченной информации о надежности.

Обоснование требований показателей эффективности СТС при ограниченной информации о надежности.

Одной из особенностей решения задачи обоснования требований к показателям эффективности сложных систем, функционирующих в автономном режиме (например, орбитальном, подводном и т.п.), и показателям эффективности СТС, в частности, как безусловного представителя таких систем, является ограниченная информация об их надежности, а именно информация о функции распределения вероятностей моментов отказов. При этом, определение сроков проведения контроля технического состояния СТС существенно зависит от этой функции.

Рассмотрим процесс контроля технического состояния СТС, в котором этот контроль состоит в проверке одного обобщенного параметра (или фиксированного их набора). Такой формат контроля соответствует традиционным во всех методах контроля СТС.

Минимаксное правило назначения сроков проверок при ограничениях на моменты распределения вероятностей моментов отказов.

Из соотношений, характеризующих влияние параметров СТС на ее эффективность, а именно на коэффициент готовности, видно, что последний существенно зависит от закона распределения моментов времени выхода обобщенного параметра за поле допуска, по сути совпадающего с законом распределения вероятностей моментов отказов. Вместе с тем, получение статистической информации об отказах СТС, позволяющей с необходимой степенью достоверности оценить закон распределения вероятностей моментов отказов, связано с целым рядом порой непреодолимых трудностей. Эти трудности обусловлены прежде всего высокой надежностью современных СТС. Отсюда следует соответствующий рост материальных и, как правило, "непроизводительных" затрат на необходимые испытания их надежности. В целях уменьшения этих затрат количество таких испытаний сокращают, но это, в свою очередь, приводит к низкой достоверности соответствующих оценок вероятностных характеристик СТС. В реальной ситуации получаемая статистическая информация зачастую оказывается достаточной лишь для определения оценок одного или двух моментов, например, математического ожидания μ_1

и дисперсии μ_2 распределения моментов отказов [1, 2]. При этом вся информация о функции распределения вероятностей моментов отказов $F(t)$ содержится в выражении

$$F(t) = \Omega(\mu_1, \mu_2),$$

где $\Omega(\eta_1, \eta_2)$ – множество функций распределения положительных случайных величин, для которых выполняются соотношения

$$\int_0^{\infty} t dF(t) = \mu_1, \int_0^{\infty} t^2 dF(t) = \mu_1^2 + \mu_2. \quad (1)$$

Ориентируясь на степень достаточности имеющейся в наличии статистической информации об отказах СТС, при определении сроков проверки естественно исходить из предположения о «наихудшей» функции распределения вероятностей моментов отказов $F(t) = F^{onm}(t)$. Пусть $G(t)$ – функция распределения продолжительности между соседними проверками СТС и

$$I = I(F(t), G(t))$$

– функционал, характеризующий качество функционирования СТС (коэффициент готовности). Тогда наилучшей функцией распределения продолжительности межпроверочных интервалов $G^{onm}(t)$ будет функция, максимизирующая указанный выше функционал $I(F(t), G(t))$ для наихудшей $F^{onm}(t)$, удовлетворяющей ограничениям (1), т.е.

$$I(F^{opt}, G^{opt}) = \max_G \min_F I(F, G). \quad (2)$$

Задача определения сроков проведения проверок в этом случае сводится к определению функции $G(t)$, максимизирующей $I(F^{opt}, G)$ и удовлетворяющей ограничениям:

$$\int_0^{\infty} dG(t) = \int_0^{\infty} g(t) d(t) = 1, \quad G(t) \geq 0.$$

В [3] строго доказывается, что решение такой оптимизационной задачи достигается на множестве функций вида:

$$X(t) = \sum_{i=1}^m x_i \delta(t - t_i), \quad (3)$$

где m – число ограничений, $\delta(t)$ – дельта-функция Дирака.

Так как в данном случае $m = 1$, то искомая плотность $g(t)$ соответствует классу вырожденных распределений, имеющих единственную точку роста, то есть

$$G^{opt}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_{KTC}; \\ 1, & t \geq T_{KTC}, \end{cases} \quad (4)$$

где T_{KTC} – продолжительность контроля технического состояния.

Таким образом, выводы теоремы о вырожденности оптимальной функции распределения моментов проведения проверок, доказанной в [1] полностью совпадают с результатами, приведенными из [3]. И, таким образом, из этих результатов следует, что периодичность проверок является детерминированной и, кроме того, существует оптимальная величина T_{KTC}^{onm} (если $0 < T_{KTC}^{onm} < \infty$), доставляющая максимум функционалу $I(F^{onm}, T_{KTC})$. Учитывая вырожденность функции $G^{onm}(t)$, задача определения оптимальной периодичности проверок представляет собой совокупность двух последовательных подзадач. Вначале отыскивается функция распределения времени безотказной работы $F^{onm}(t)$, минимизирующая функционал $I(F(t), T_{KTC})$ при фиксированном T_{KTC} , а затем уже определяется T_{KTC}^{onm} , обеспечивающий максимум указанному функционалу. В этом случае задача формулируется следующим образом: найти функцию $F^{onm}(t)$, минимизирующую $I(F(t), T_{KTC})$ и удовлетворяющую ограничениям:

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1, t > 0, \quad (5)$$

где $f(t)$ – плотность распределения времени безотказной работы.

Если кроме информации о плотности $f(t)$, содержащейся в ограничении (5), известны также математическое ожидание μ_1 и дисперсия μ_2 , то к (5) добавляются ограничения:

$$\int_0^{\infty} tf(t)dt = \mu_1, \int_0^{\infty} t^2 f(t)dt = \mu_1^2 + \mu_2. \quad (6)$$

Как показано в [1, 2] коэффициент готовности, средняя удельная прибыль и т.п. в общем виде может быть представлен как дробно-линейный функционал:

$$I(F(t), G(t)) = K_{\Gamma}(F(t), G(t)) = \frac{\int_0^{\infty} A(F(t))dG(t)dF(t)}{\int_0^{\infty} B(F(t))dG(t)dF(t)} \quad (7)$$

или, в силу вырожденности функции распределения $G^{om}(t)$,

$$K_{\Gamma}(F(t), T_{\text{КТС}}) = \frac{\int_0^{\infty} A(t, T_{\text{КТС}})dF(t)}{\int_0^{\infty} B(t, T_{\text{КТС}})dF(t)}. \quad (8)$$

Таким образом, исходная задача минимизации дробно-линейного функционала (8) сводится к решению последовательности задач, структура которых такова: отыскать функцию $f^*(t)$, максимизирующую функционал

$$f^*(t) = \max_{f(t)} \int_{r_2}^{r_1} c(t)f(t)dt \quad (9)$$

и удовлетворяющую ограничениям

$$\int_{r_2}^{r_1} a_i(t)f(t)dt = b_i, i = \overline{1, m}; \quad (10)$$

$$f(t) \geq 0, t \in [r_1, r_2]. \quad (11)$$

Задача (9) ... (11) является канонической задачей непрерывного линейного программирования (КЛП).

При этом, в [3] строго доказывается, что решение канонической задачи КЛП достигается на множестве опорных план-функций $y(t)$ следующего вида:

$$y(t) = \sum_{j=1}^m y_j \delta(t - t_j), \quad (12)$$

где $\delta(t)$ – дельта-функция Дирака.

Метод решения задачи КЛП является естественным обобщением метода улучшения плана, используемого для решения обычной задачи линейного программирования.

Задача отыскания наихудшей плотности распределения времени безотказной работы с учетом соотношений (9),..., (11) формулируется следующим образом: найти функцию $f_p^*(t)$, максимизирующую функционал.

$$f_p^*(t) = \max_{f(t)} \int_0^{\infty} u(t)f(t)dt. \quad (13)$$

Но так как функция распределения вероятности времени безотказной работы не обладает свойствами функции распределения, а именно свойством $\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$, то целесообразно использовать плотность распределения вероятности времени наработки на отказ. И поэтому задача отыскания наихудшей плотности распределения времени наработки на отказ с учетом соотношений (9),..., (11) формулируется следующим образом: найти функцию $f_o^*(t)$, минимизирующую функционал

$$f_o^*(t) = \min_{f(t)} \int_0^{\infty} u(t)f(t)dt \quad (14)$$

при ограничениях

$$\int_0^{\infty} f(t)dt = 1; \quad (15)$$

$$\int_0^{\infty} tf(t)dt = \mu_1; \quad (16)$$

$$\int_0^{\infty} t^2 f(t)dt = \alpha_2; \quad (17)$$

$$f(t) \geq 0, t \in [0, \infty].$$

Очевидно, для применения КЛП необходимо провести моделирование процессов функционирования, что позволит сформировать функцию $u(t)$. Полученная модель процесса функционирования СТС позволит рассчитать показатель эффективности, а именно коэффициент готовности.

Одним из перспективных направлений реализации моделирования процессов функционирования является использование теории марковских и полумарковских процессов. Как показал анализ работ, посвящённых моделированию процесса эксплуатации сложных технических систем [4, 5, 6], именно полумарковские модели позволяют обосновать периодичность контроля технического состояния СТС.

Заключение

Представленный в данной статье подход к определению плотности распределения вероятностей с помощью теории континуального линейного программирования, позволяет найти такую плотность распределения вероятностей моментов отказа исследуемой технической системы, которая позволяет отыскать выражение для наихудшей плотности распределения вероятностей моментов отказа СТС и, тем самым получить гарантированную оценку ее эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барзилович Е. Ю., Беляев Ю. К., Каштанов В. А. [и др.]. Вопросы математической теории надежности. М. : Радио и связь, 1983. 376 с.
2. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность : пер. с англ. М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 328 с.
3. Раскин Л. Г., Кириченко И. О. Математические основы исследования операций и анализа сложных систем вооружения ПВО. Харьков : ВИРТА ПВО, 1987. 202 с.
4. Мищенко В. И., Храмов М. Ю. Проблематика эксплуатации сложных технических систем. СПб. : Политехника сервис, 2016. 218 с.
5. Ефремов В. А., Мищенко В. И., Мищенко И. В. Полумарковская модель процесса функционирования средств измерений // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 28–37.
6. Кузнецов С. В. Математические модели процессов и систем технической эксплуатации авионики как марковские и полумарковские процессы // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2015. № 213 (3). С. 28–33.

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР МЕТОДОВ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Евгений Александрович Михайлов¹, Владимир Ильич Мищенко²

^{1,2}Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

Продление срока службы метрологических комплексов (далее – МК) приобретает первостепенное значение в связи с большим экономическим эффектом, который может быть при этом получен.

В технической документации разработчиков МК в качестве показателя долговечности, регламентирующего срок эксплуатации, устанавливается средний срок службы (иногда назначенный срок службы).

Отчасти проблема истечения регламентированного срока эксплуатации решается путем модернизации МК и замены средств измерений (далее – СИ), однако для большей части СИ из состава МК она остается актуальной.

Продление срока эксплуатации МК является мерой, альтернативной замене, в том случае, если МК может выполнять свои функции с требуемыми характеристиками после истечения этого срока. При этом сохранение работоспособности и уровня надежности МК в период, на который продлевается его срок эксплуатации, может обеспечиваться за счет реализации мероприятий, дополняющих установленный регламент эксплуатации МК (увеличение частоты и объема ТО, замена элементов с недостаточной надежностью, пополнение ЗИП, улучшение условий эксплуатации и так далее).

Для оценки возможности продления срока эксплуатации оборудования проводятся различного рода испытания, результатом которых является оценка характеристик долговечности, связанных с большим значением наработки.

В качестве определяющего параметра используется параметр потока отказов, в котором отражаются изменения в МК, связанные со старением. Для такого выбора имеются следующие предпосылки:

- число однотипных СИ, входящих в МК, достигает несколько десятков, а иногда и сотен. Это позволяет изучить достаточно большой объем статических данных о надежности МК в целом;

- однотипные МК оснащены, в основном, однотипными СИ.

Среди методов, позволяющих определить параметр потока отказов выделяют следующие:

- методы, основанные на ускоренных испытаниях;
- методы, основанные на выявлении статистических закономерностей изменения определяющих параметров;
- метод индивидуального прогнозирования долговечности на основе статистической классификации.

Метод ускоренных испытаний

Ускоренными называются испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимого объема информации о МК в более короткий срок, чем в предусмотренных условиях и режимах эксплуатации. Ускоренные испытания бывают сокращенными и форсированными.

Принцип ускоренных испытаний – совокупность теоретических и экспериментально обоснованных закономерностей или допущений, на использовании которых основано проведение испытаний с сокращением их продолжительности.

Метод ускоренных испытаний – совокупность правил применения принципов ускоренных испытаний для получения показателей надежности определенных групп средств измерений или видов изделий.

Режим ускоренных испытаний - режим, предусмотренный применяемым принципом и методом ускоренных испытаний и обеспечивающий сокращение продолжительности испытаний.

Достоинством метода являются:

- высокая достоверность результатов измерений, полученных на основе статистически скрытых и явных отказов;
- минимизация расходов на эксплуатацию МК, устранение последствия от возможных ошибок, вызванных погрешностями измерения;
- минимальные финансовые и временные затраты.

Основные недостатки данного метода:

- большое количество экспериментальных данных по процессам изменения во времени;
- исследования весьма трудоемки;
- необходимость наличия сведений о проверке за длительный промежуток времени, а также затраты на постоянный контроль проведения проверки.

Метод, основанный на выявлении статистических закономерностей изменения определяющих параметров

Суть метода состоит в том, что партию СИ делят на несколько выборок с различными значениями определяющего технического параметра и определяют для них коэффициент, характеризующий запас параметрической надежности. Для каждой выборки (каждого значения коэффициента) вычисляют нижнюю границу срока службы. По полученным значениям строят зависимость, по которой определяют соответствующий остаточный срок службы.

Достоинством данного метода является возможность анализировать и оценивать различные варианты развития событий и учитывать различные факторы, влияющие на службу МК, в рамках одного периода.

Основным недостатком этого метода является сложность в использовании большого количества итераций, и, как следствие, высокие затраты времени.

Метод индивидуального прогнозирования

Под прогнозом понимается научно обоснованное суждение о возможных состояниях МК в будущем, об альтернативных путях и сроках их достижения. Каждый прогноз разрабатывается с целью добиться ускоренного развития МК прогнозирования в желательном направлении и избежать нежелательных результатов. Прогноз создает идеальный образ, модель, описание вероятных процессов, событий.

Достоинством данного метода является то, что он позволяет найти меру влияния отдельных закономерностей и причин развития, представить прогноз, как динамическую систему измеренных с определенной степенью достоверности взаимодействий реальных явлений, факторов, сил общественной деятельности и тем самым дать возможность воспроизвести с определенной степенью вероятности поведение этой системы в будущем.

Недостатком данного метода заключается в необходимости обеспечения представительных выборок по отказам, позволяющих описать МК, различающиеся по сроку службы. Данный метод применим только для МК единичного применения.

Метод экстраполяции значений показателей эксплуатационной надежности

Метод экстраполяции значений показателей эксплуатационной надежности состоит в выявлении тенденции изменения этих показателей группы однотипных МК, аппроксимации изменений подходящими аналитическими функциями и использовании последних для прогнозирования показателей надежности на требуемый срок.

Для реализации метода необходимо располагать следующей исходной информацией:

- при прогнозировании параметра потока отказов МК – возникновения отказов элементов исследуемого МК с указанием его наработки;

– при прогнозировании интенсивности отказов МК – наработкой отказавших и не отказавших элементов исследуемого МК.

Достоинством метода в отличие от предыдущих является наличие модели отказов. Но для реализации данного метода необходим достаточный объем статистических данных о МК для расчета моментов распределения наработки на отказ.

Следует отметить, что описанные выше методы приемлемы только лишь для элементов исследуемого МК, а не для образца в целом и не учитывают обслуживание и ремонт в процессе эксплуатации последнего.

Метод моделирования функционирования МК в ходе эксплуатации

При функционировании МК имеется зависимость вероятностных характеристик процесса функционирования МК, в частности показателя эффективности – коэффициента готовности, от основных параметров системы эксплуатации:

- периодичности проведения проверок, задающей периодичность проведения технического обслуживания МК;
- достоверности этих проверок, определяющей их объем и объем ТО в целом;
- номенклатуры, состава и эшелонирования комплектов ЗИП и стратегии их пополнения;
- сроков и объема плановых ремонтов (среднего и капитального);
- условий эксплуатации – объективных (параметров внешней среды) и субъективных (интенсивности эксплуатации).

Содержательную модель расходования ресурса МК в ходе эксплуатации, позволяющую в комплексе учесть влияние различных факторов, можно получить при использовании метода моделирования функционирования МК в ходе эксплуатации.

Достоинством метода в отличие от предыдущих является то, что данный метод применим для исследуемого МК в целом.

Несмотря на большое количество и разнообразие рассмотренных выше методов, главным и общим недостатком остается их узкая направленность на обоснование того или иного параметра системы эксплуатации. Перспективным подходом для обоснования объема и сроков проведения операций дополнительного технического обслуживания и ремонта элементов МК, а также для корректирования интервалов продления назначенного ресурса и срока службы МК и для повышения надежности является метод моделирования функционирования МК в ходе эксплуатации.

Дальнейшие исследования будут связаны с одним из наиболее перспективных направлений моделирования функционирования МК является использование теории полумарковских процессов, позволяющей более полно учесть многообразие вероятностных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорожко И. В., Кочанов И. А., Осипов Н. А., Бутырин А. В. Комплексная модель надежности и диагностирования сложных технических систем // Труды Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. 2016. № 652. С. 137–146.
2. Дмитриев А. К., Копкин Е. В. Оценивание достоверности непрерывных признаков при диагностировании технического объекта // Известия высших учебных заведений Приборостроение. 1999. Т. 42, № 9. С. 3–10.
3. Дмитриев А. К., Юсупов Р. М. Идентификация и техническая диагностика. Л. : МО СССР, 1987. 521 с.
4. Мышко В. В. Кравцов А. Н., Копкин Е. В., Чикуров А. В. Теоретические основы и методы оптимизации анализа технического состояния сложных систем : монография. СПб. : ВКА имени А. Ф. Можайского, 2013. 303 с.
5. Копкин Е. В., Кравцов А. Н., Мышко В. В. Анализ технического состояния космических средств. СПб. : ВКА имени А. Ф. Можайского, 2016. 189 с.
6. Копкин Е. В., Кравцов А. Н., Мышко В. В. Контроль и диагностика космических средств. СПб. : ВКА им. А. Ф. Можайского, 2016. 198 с.

7. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. М. : Изд-во стандартов, 1990. 12 с.
8. Бочкарев С. В. Цаплин А. И. Диагностика и надежность автоматизированных систем. Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. 485 с.
9. Дьяконов В. П. Simulink5/6/7 : самоучитель. М. : ДМК-Пресс, 2008. 784 с.

ОПИСАНИЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА *MITSUBISHI FX3U-32MR/ES-A*

Анастасия Александровна Казаченко¹, Евгения Анатольевна Данилова²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

В современных условиях рыночной экономики эффективность работы предприятия во многом зависит от скорости и производительности оборудования. Машины, управление которыми осуществляется ручным регулированием в приблизительных диапазонах данных, уходят на второй план, так как не позволяют обеспечить требуемую точности скорость изготовления продукции.

В данной статье на примере производственной линии гофроагрегата представлено одно из решений на пути к полной автоматизации производственных модулей, которое позволит наладить мониторинг данных, увеличить производительность и обеспечить требуемое качество изготовления продукции.

Производственная линия гофроагрегата (рис. 1) состоит из ряда функциональных модулей, а именно:

- гофропресс (модуль, отвечающий за гофрирование промежуточных слоев гофрокартона);
- тянущие валы гофропресса (валы, инициирующие движение полотна к последующим блокам);
- накопитель (модуль, предназначенный для накопления определенного метража полотна);
- клеевая машина (модуль, в котором осуществляется нанесение клея и соединения трех/пяти слоев гофрокартона);
- сушильный стол (предназначен для удаления ненужной влаги);
- биговка/рилевка/ножи (блок, где осуществляется необходимая обработка полотна гофрокартона перед разделением на заготовки/листы);
- отруб (блок с отрубными ножами, которые «нарезают» полотно гофрокартона на необходимые заготовки/листы);
- тянущие валы отруба (инициируют движение заготовок к транспортерам);
- транспортер нижний (движение к нижнему столу приемки продукции);
- транспортер верхний (движение к верхнему столу приемки продукции).

Для слаженной работы каждого модуля необходимо подавать на их входы соответствующее питание, сохраняя оптимальные скорости, при которых качество производимого гофрокартона будет наилучшим. Ранее скорости каждого модуля задавались операторами вручную, что в последствии приводило к значительному проценту брака. Таким образом, задачей данной работы являлось внедрение автоматизированного решения регулирования скоростей, их автоматическая оптимизация с учетом технологии производства и специфики работы отдельных модулей [1,2].

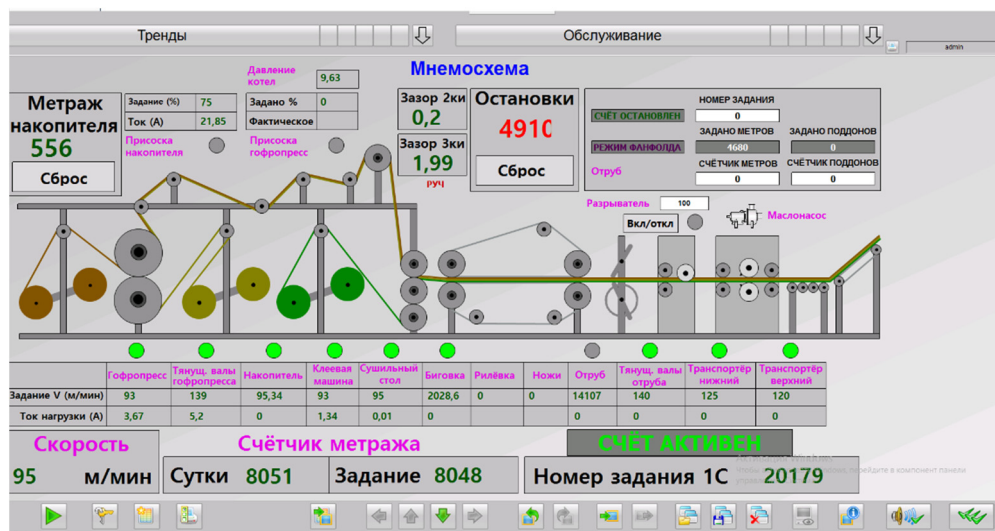


Рис. 1. Экран мнемосхемы SCADA-системы

Решение данной задачи реализовано на базе контроллера *MITSUBISHI FX3U-32MR/ES-A*.

Данный контроллер имеет ряд аналоговых входов, выходов, благодаря чему возможно регулирование скорости вращения приводов путем задания скорости на частотные преобразователи напряжением 0-10 в (*FX3U-4DA – AP1.8, channel 1- channel 4*). Для исключения возможности помех и наводок, все кабели, идущие на датчики, и соподключенные устройства от аналогового входа и выхода контроллера имеют экранирующую оплётку, подключенную на общий контур заземления [3–5].

Для вывода информации о скорости гофроагрегата и сушильного стола, на вход *FX2N-8ADAP1.3 I1+, I2+*, были подведены аналоговые сигналы от шкафов гофроагрегата, шкафа сушильного стола.

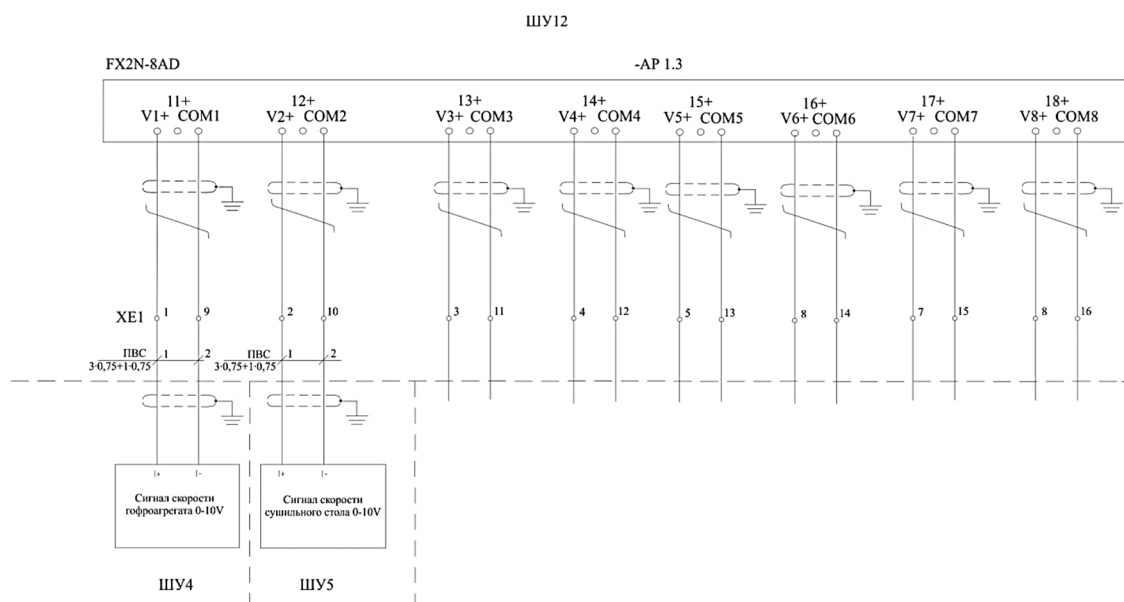


Рис. 2. Аналоговые входы –AP1.3 (*ch.1-ch.8*)

Также вывод информации реализован для транспортера картона 1 (нижний), транспортера картона 2 (верхний), тянущих валов, узла биговки, привода сушильного стола, клеевой машины и продольной резки (рис. 3–4).

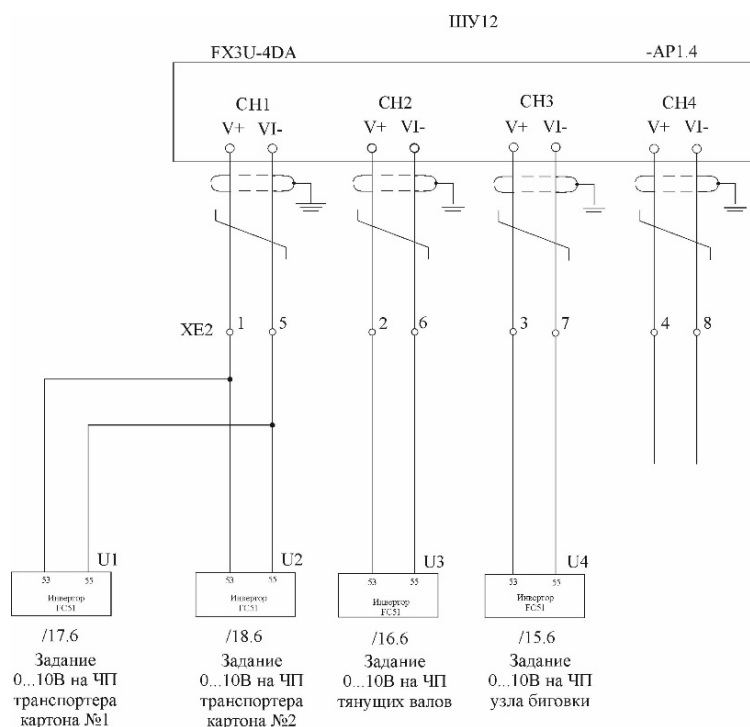


Рис. 3. Аналоговые входы – AP1.4 (ch.1-ch.4)

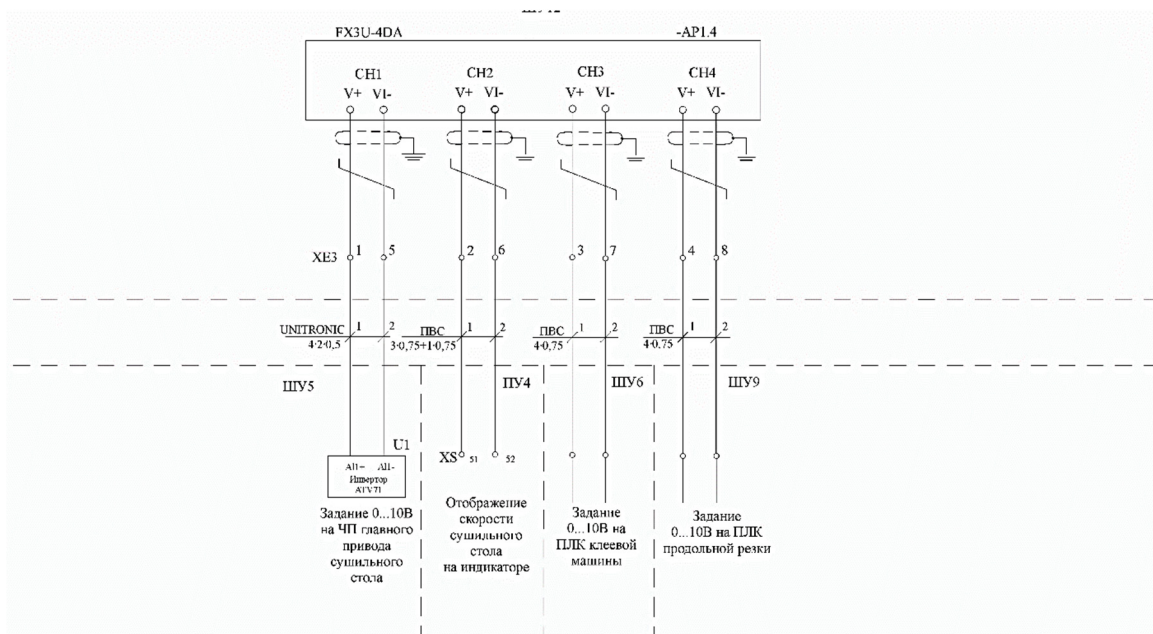


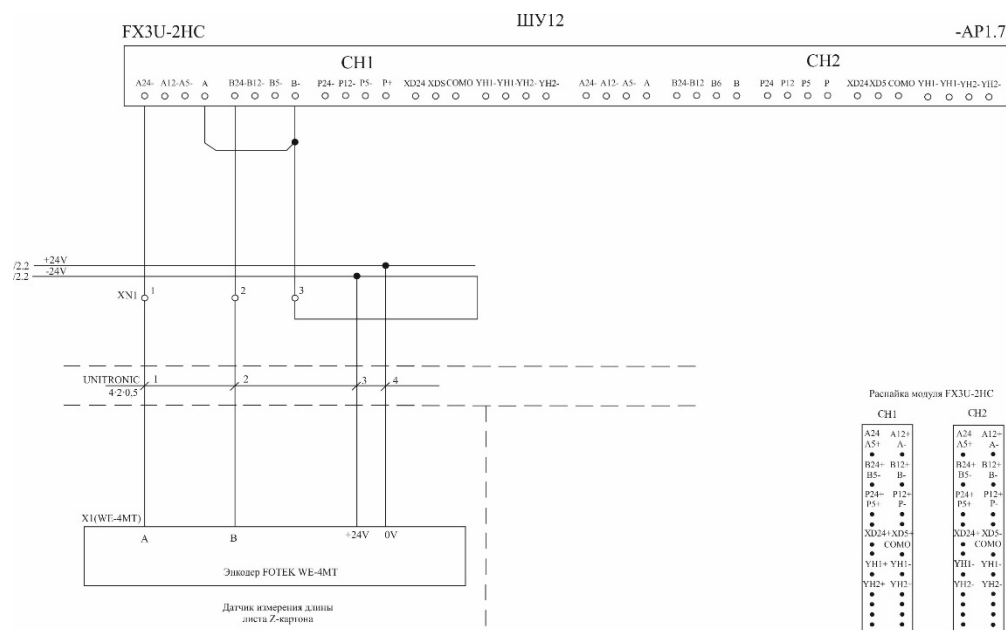
Рис. 4. Аналоговые входы – AP1.8 (ch.1-ch.4)

В процессе работы линии при изготовлении гофролистов или z-картона (бесконечного картона) возникает необходимость в измерении длины одной единицы продукции для своевременного отруба заготовки от общего полотна гофрокартона. Для решения данной проблемы в схеме предусмотрен датчик измерения длины, который подает информацию на соответствующий вход контроллера [4–6].

Кроме перечисленных основных функций, в управляющей программе производится контроль необходимых блокировок, предохраняющих механизмы агрегата от поломок, выполняется стабилизация длины реза картона, накопительный учет готовой продукции [7–9].

Таким образом, выполнены аналоговые модули электрической схемы, разработанной для управления производственной линией на базе контроллера *MITSUBISHI FX3U-32MR/ES-A*.

Модернизация гофроагрегата дала возможность значительно увеличить производственные мощности и повысить качество производимого гофрокартона [10–15].



Модернизация системы управления механизмами агрегата и технологией производства гофрокартона на программируемой технике взамен физически и морально устаревшей релейно-контактной, кроме повышения качества производимого продукта и экономии электроэнергии, позволила увеличить производительность и снизить время простоев. Точная синхронизация приводов пресса и сукна обеспечила возможность работы на повышенной скорости без риска поломки механизмов и снижения качества продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев С., Серов А. Современные технологии удаленного доступа в SCADA-системах на примере WinCCOA // ControlEngineering Россия. 2016. № 6 (66). С. 18–25.
2. Соловьев С. Ю. Дигитализация с SIMATIC WinCCOpenArchitecture: настоящее и будущее // ИСУП. 2017. № 3 (69). С. 93–101.
3. Young J. J. Mathematical Modeling and Analysis of Flexible Production Lines. Massachusetts Institute of Technology, 2007. P. 26–31.
4. Хаймович И. Н., Фролов М. А., Куралесова Н. О. Совершенствование технологического процесса многономенклатурного производства на основе имитационного моделирования гибких производственных линий в цехе // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. 2016. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-tehnologicheskogo-protssessamnogonomenklaturного-proizvodstva-na-osnove-imitatsionnogo-modelirovaniya-gibkih> (дата обращения: 18.05.2023).
5. Кириллов Д. С., Насиров Э. Ф., Чернова М. В., Мертинс Г. Р. Автоматизация технологических и производственных процессов // Достижения вузовской науки 2020 : сб. ст. XVI Международный науч.-исслед. конкурса. Пенза : Наука и Просвещение, 2020. С. 60–62.
6. Grishko A., Adnreev P., Goryachev N. [et al.]. Reliability control of complex systems at different stages of their life cycle // Proceedings – 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2018, Yekaterinburg. 2018, 7–8 May. Yekaterinburg, 2018. P. 220–223. doi:10.1109/USBREIT.2018.8384589 EDN: YCDETB

7. Бычков А. А. Автоматизация производственных процессов // Радиотехника, автоматизация, телекоммуникации и связь. URL: https://elib.gstu.by/bitstream/handle/220612/23552/Bychkov_A_A_Avtomatizatsiya.pdf?sequence=1
8. Данилова Е. А. Информационная технология подготовки производства печатных плат // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2015. № 18. С. 397–401.
9. Баранов А. А. Автоматизация оперативного планирования мелкосерийного машиностроительного производства : автореф. дис. ... канд. техн. наук. : 05.13.06). Владимир, 2010. 18 с.
10. Казаченко А. А., Данилова Е. А. Проектирование системы SCADA: предложение по оптимизации производственной линии // Инжиниринг и технологии. 2022. Т. 7, № 2. С. 9–17. doi: 10.21685/2587-7704-2022-7-2-3 EDN: JXVSPB
11. Казаченко А. А., Данилова Е. А., Малышев В. О. [и др.]. Выбор управляющего контроллера для автоматизации производственной линии методом анализа иерархий // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2023. Т. 1. С. 336–343. EDN: AEVUQT
12. Ревунов М. С., Ревунов Д. С., Семенов А. Д. Повышение эффективности автоматизированной системы управления технологическим процессом регулирования массы бумажного полотна // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 1. С. 17–23. doi:10.21685/2307-5538-2023-1-2
13. Ефремов В. А., Мищенко В. И., Мищенко И. В. Полумарковская модель процесса функционирования средств измерений // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 29–38. doi:10.21685/2307-5538-2022-3-3
14. Семенов А. Д., Волков А. В., Шумкина А. Ю. Разработка системы контроля и управления доступом на основе RFID-меток с двойной аутентификацией // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2021») : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Пенза, 28–30 октября 2021 г.) / под ред. Е. А. Печерской. Пенза : Изд-во ПГУ, 2021. С. 93–103.
15. Байгузова А. В., Горячев Н. В., Прошин А. А. [и др.]. Пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор как элемент автоматического регулирования технологических процессов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2019. Т. 2. С. 15–17. EDN: BHFXSX

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ АНАЛИЗАТОРОВ СПЕКТРА

**Игорь Иванович Кочегаров¹, Михаил Александрович Нелюцков²,
Диана Евгеньевна Тузова³, Егор Андреевич Вершинин⁴**

^{1,2,3,4}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Введение

Спектральный анализатор – это устройство, которое широко применяется в различных научных и производственных областях, включая беспроводные технологии связи и радиовещание [2]. В этих областях каждый передатчик или источник сигнала должен функционировать на определенной частоте. Работа в узких "коридорах" частот может привести к насаиванию нескольких соседних сигналов и появлению помех. Для решения этой проблемы применяют спектральный анализатор, он позволяет определить границы частоты каждого сигнала и подавить нежелательные сигналы или помехи.

Кроме того, спектральный анализатор находит применение в области звукорежиссуры при сведении музыкальных треков. Во время записи музыкальных инструментов или голоса возникают помехи, вызванные самим оборудованием. Хотя эти помехи не всегда слышимы для человеческого уха, они влияют на общее качество записи. Поэтому

в профессиональном программном обеспечении для записи присутствует спектроанализатор, который позволяет увидеть, с какой частоты начинается звучание определенного инструмента, например, гитары. Все, что находится ниже этой частоты, может быть безопасно удалено, что улучшает качество звучания трека. Спектральный анализ также полезен для решения частотных конфликтов между разными музыкальными инструментами, которые звучат в одной частотной полосе. Примером такого конфликта может служить перекрытие звучания бас-гитары и барабанной "бочки". С помощью спектроанализатора можно наглядно увидеть перекрывающиеся частоты на экране устройства и принять соответствующие меры для их разделения [1–2].

Главная цель спектрального анализатора состоит в наблюдении и измерении распределения энергии электрических или электромагнитных колебаний в определенной полосе частот. Сигналы могут быть представлены как во временной, так и в частотной областях. Для оценки электрических явлений и их изменений во времени применяется осциллограф. Каждое электрическое явление состоит из волн с определенными фазами и амплитудами. Однако для более наглядного представления сигнала в частотной области требуется спектроанализатор.

Анализаторы спектра могут выполняться из блоков, в основу которых положено БПФ (быстрое преобразование Фурье), либо из радиоприёмников – супергетеродинных анализаторов, преобразующих принимаемый сигнал в усиленный сигнал ФПЧ (фильтр промежуточной частоты).

Принцип работы анализатора спектра на супергетеродинных анализаторах

Структурная схема анализатора, изготовленного на основе супергетеродинных анализаторов, представлена на рис. 1.

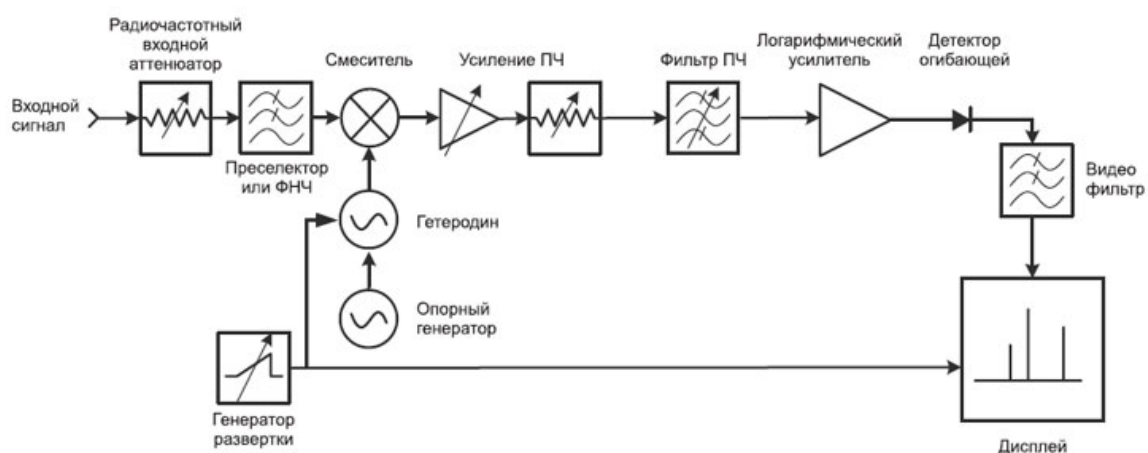


Рис. 1. Структурная схема супергетеродинного анализатора спектра

Наиболее важными элементами данной схемы являются:

1) Радиочастотный входной аттенюатор

Функция данного элемента состоит в обеспечении подачи сигнала на смеситель такого уровня, при котором на нём будут отсутствовать любые компрессии (усиление или искажение). Также он применяется для защиты устройства от перегрузок. Достижение необходимой “чистоты” сигнала осуществляется за счет ослабления. В большинстве случаев его уровень выставляется автоматически, но также возможна и ручная настройка с шагом 10, 5, 2 и даже 1 дБ [6, 7].

2) Фильтр низких частот

Данный фильтр ограничивает пропускание высокочастотных составляющих в смеситель, пропуская частоты ниже частоты среза. Тем самым он предотвращает смесь

сигнала гетеродина с внеполосными сигналами. В тех случаях, когда возникает необходимость подавления всех частотных составляющих кроме выбранного диапазона частот, используют преселектор – настраиваемый полосовой фильтр.

3) Смеситель

Данный компонент схемы выполняет роль декрементации и инкрементации частоты сигналов, поступающих от фильтра и гетеродина, направляя результат на УПЧ (усилитель промежуточной частоты).

4) УПЧ (усилитель промежуточной частоты)

Функция данного элемента заключается в подстройке отображаемого сигнала на дисплее без воздействия (изменения) уровня сигнала на смесителе. Для корректного отображения амплитуды сигналов должно сохраняться условие, при котором изменение уровня усиления промежуточной частоты соответствует изменению опорного уровня [5-6]. С этой целью УПЧ и аттенюатор ставят в сопряжённое состояние. При этом изменение сигнала на аттенюаторе автоматически вызывает изменение в сигнале УПЧ. Таким образом сигнал остаётся в прежнем месте на дисплее.

5) Детектор огибающей

Для представления информации в виде видеосигнала используют огибающий детектор. После выполненной функции уже сформированный видеосигнал передаются на вход АЦП (аналого-цифрового преобразователя) для дальнейшей обработки.

В простом представлении детектор огибающей диод, резистивная нагрузка и фильтр НЧ. На рис. 2 (в качестве примера) представлена амплитудно-модулированная синусоидальная волна, поступающая на вход детектора. Отклик детектора повторяет изменения в огибающей сигнала ПЧ, но не в мгновенном значении амплитуды самой синусоидальной волны ПЧ.

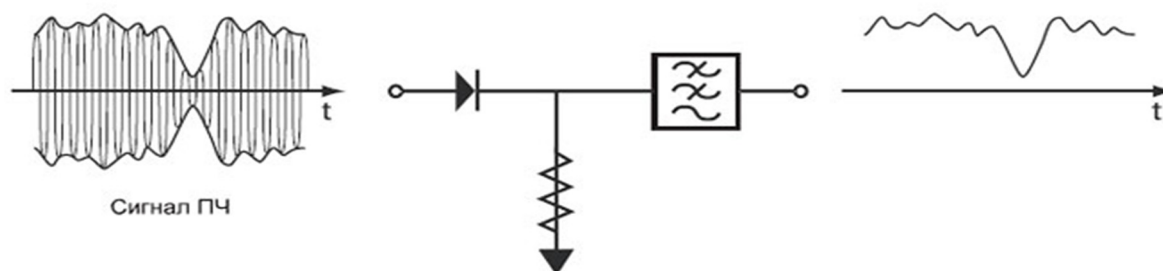


Рис. 2. Детектор огибающей и его принцип работы

6) Видеофильтр

Для устранения шума (или его снижения) в анализируемом видеосигнале, поступающему с АЦП, используется такой компонент, как видеофильтр. Также его используют для поддержания связи между детектором и АЦП.

7) Гетеродин

Маломощный генератор электрических колебаний – гетеродин, применяется для настройки супергетеродинных устройств. Он производит генерацию маломощного сигнала при условии контроля его частоты генератором развертки.

8) ФПЧ (фильтр промежуточной частоты)

ФПЧ выделяет только те составляющие частоты, которые требуются для дальнейшей обработки. То есть ФПЧ определяется как полосовой фильтр, имеющий собственный центр на промежуточной частоте. Именно полосой пропускания данного фильтра определяется полоса разрешения анализатора спектра [3].

Рассмотрев наиболее важные элементы супергетеродинного анализатора спектра можем сформулировать принцип его работы: входной сигнал, проходя через аттенюатор и ФНЧ, попадает на смеситель, который смешивает данный сигнал с сигналом

гетеродина. Из-за нелинейности смесителя на его выходе будут образовываться гармоники (помимо двух смешанных сигналов), а также результат сложения и вычитания частот этих гармоник. Далее результат смещения попадает в ФПЧ, после которого поступает на детектор для дальнейшей обработки и оцифровки сигнала в виде видеосигнала. Также тут происходит обнаружение сигнала на настроенной частоте. Амплитуда, которая отражается и управляет отображением графика на вертикальной оси, определяется напряжением на выходе детектора. Синхронизационная связь между гетеродином и генератором осуществляется для выявления амплитудно-частотной характеристики на экране анализатора спектра.

Экран дисплея представляется в виде калибровочной сетки, на вертикальной шкале которой отображается амплитуда, а на горизонтальной частота. Современные модели могут сохранять полученную спектрограмму во встроенной памяти и обмениваются информацией с ПК.

Принцип работы анализатора спектра на БПФ

Второй вид спектроанализаторов являются БПФ-анализаторами. Их принцип работы определяется структурной схемой (рис. 3).

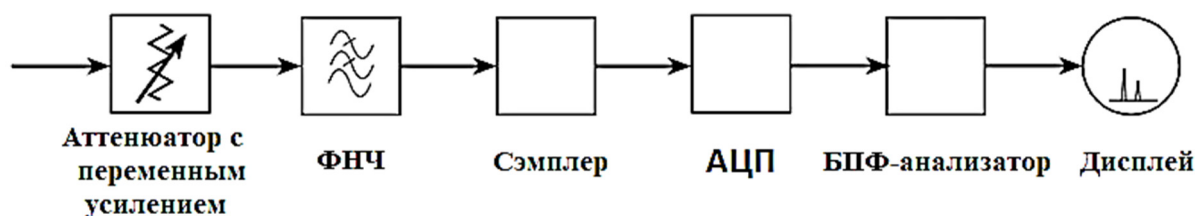


Рис. 3. Структурная схема БПФ-анализатора

Анализаторы такого типа изготавливаются из блоков, в основной принцип работы которых положено быстрое преобразование Фурье (БПФ). Такое преобразование позволяет преобразовывать кривые произвольной формы в виде спектрограммы.

В данном БПФ-анализаторе есть аналогичные элементы супергетеродинных анализаторов, выполняющие функции аттенюатора и блока фильтрации. Помимо перечисленных блоков БПФ-анализатор имеет такие компоненты, как:

- Сэмплер. Элемент, осуществляющий выборку дискретных составляющих, которые выделяются ФНЧ;
- АЦП. Данный компонент выполняет цифровизацию дискретизированных составляющих;
- БПФ-анализатор. Данный элемент с помощью операций математического анализа раскладывает оцифрованные данные на составляющие их гармоники;

Для исполнения функций математического анализа БПФ заранее производится разделение данных по шкале времени с определением значений выборок амплитуды, с помощью такого элемента, как Сэмплер. Учитывая то, что составляющие гармоник могут иметь бесконечное значение, то для увеличения быстродействия математических операций применяют ограничение по их выборкам [8-11].

После вышеперечисленных манипуляций выполняется оцифровка полученных данных с помощью АЦП, с дальнейшим сохранением их в памяти анализатора. Далее блок БПФ-анализатора выполняет свои функции, используя специальный алгоритм преобразования, затем передает результат на экран анализатора спектра.

Классификационные признаки анализаторов спектра

Спектроанализаторы можно классифицировать по следующим признакам:

1) По принципу работы. Данный признак подразумевает деление на параллельный и последовательный тип. Различие данных типов определяется количеством используемых блоков, которые обрабатывают поступающую информацию. На рис. 4 изображена блок-схема установок последовательного типа.

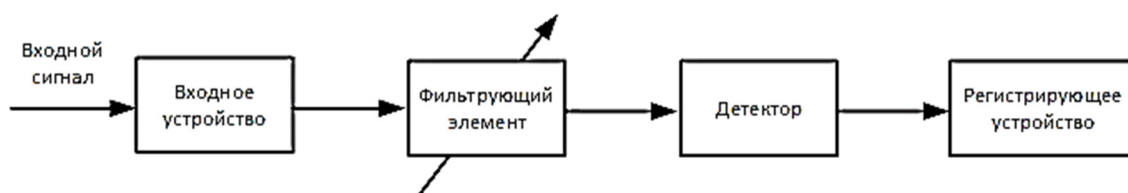


Рис. 4. Схема установок последовательного типа

Анализаторы спектра последовательного типа осуществляют работу на базе автоматических супергетеродинов, которые представляют собой радиоприемники, усиливающие преобразующий поступающий в них сигнал в другой, заранее фиксированный ФПЧ. Суть такого типа состоит в последовательном анализе единичных компонентов при проведении почастотного сканирования с оцифровкой поступающих данных. Преимуществом данного типа установок является простота аппаратного отношения и широкий рабочий диапазон. Недостатком – малая эффективность. Область применения заключается в исследовании периодических импульсов [4].

Блок-схема параллельного типа анализаторов спектра изображена на рис. 5.

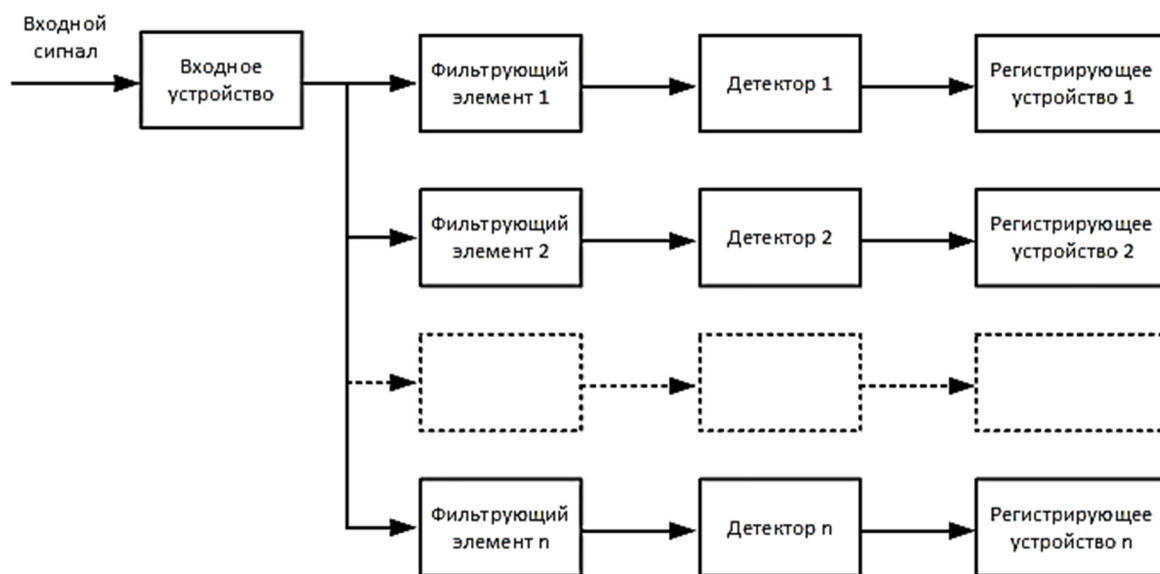


Рис. 5. Блок-схема установок параллельного типа

Анализ поступающей информации, данный тип анализаторов, осуществляют генерируя эквивалент сигнала с помощью БПФ. В таких анализаторах набор резонансов настроен на частоту, определённой величины. Преимуществом данного типа анализаторов является оперативная и эффективная работа. Недостаток определяется высокой сложностью аппаратного обеспечения и возможностью работы только с информацией низкой частоты. Применяются для анализа импульсных и однократных сигналов.

2) По рабочему диапазону. Данная классификация определяется частотным диапазоном:

- Широкополосные: являются универсальными анализаторами, использующиеся при решении различных задач. Проводят анализ информации в широком диапазоне частот;

- Оптического интервала: нацелены на решение задач узкой специализации. Данные передаются по оптоволоконным линиям связи;
 - Низкочастотные: применяются при исследовании низких частот, таких как звуковой и радиочастотный интервал.
- 3) По характеру анализа. Подразделяются на скалярные – дающие данные об амплитудах гармоник спектра и векторные – предоставляющие информацию о фазовых соотношениях.

Выводы

В данной статье были рассмотрены основные составляющие элементы анализаторов спектра, изучены их принципы работы, а также представлены классификации анализаторов по принципу работы, рабочему диапазону и характеру анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rauscher C. Fundamentals of Spectrum Analysis. 1st ed. Rohde & Schwarz, 2001.
2. Афонский А. А., Дьяконов В. П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики / под ред. проф. В. П. Дьяконова. М. : СОЛОН-Пресс, 2009.
3. Бернблит М. В. Аппаратурный спектральный анализ в судостроении и океанотехнике : учеб. пособие. Л. : Изд. ЛКИ, 1996.
4. Дьяконов В. П., Афонский А. А. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики. М. : СОЛОН-Пресс, 2009.
5. Маслов А. М. Анализатор спектра АКС-1101 // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2000. № 2.
6. Раушер К., Йанссен Ф., Минихольд Р. Основы спектрального анализа. М. : Горячая линия – Телеком, 2006.
7. Коновалов С. И., Коновалов Р. С., Цаплев В. М., Юлдашев З. М., Нефедьев Д. И. Синтез и коррекция акустических сигналов в системах излучения-приема. Алгоритм расчета и проектирования // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 39–46. doi: 10.21685/2307-5538-2022-3-4
8. Семенов А. Д., Волков А. В., Шумкина А. Ю. Разработка системы контроля и управления доступом на основе RFID-меток с двойной аутентификацией // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2021») : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Пенза, 28–30 октября 2021 г.) / под ред. Е. А. Печерской. Пенза : Изд-во ПГУ, 2021. С. 93–103.
9. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов : пер. с англ. 2-е изд. М. : Биномпресс, 2016.
10. Суходольский В. Ю. Altium Designer: проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах. СПб. : БХВ-Петербург, 2010. 480 с.
11. Григорьев А. В., Юрков Н. К., Ескибаев Е. Т. [и др.]. Исследование целостности сигнала и электрических параметров в сложных измерительных системах // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2. С. 11–21. doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-2

Научное издание

**МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
И ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ
(«ШЛЯНДИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2023»)**

Материалы XV Международной научно-технической конференции
с элементами научной школы и конкурсом
научно-исследовательских работ для студентов,
аспирантов и молодых ученых

г. Пенза, 2–3 ноября 2023 г.

Под редакцией доктора технических наук, профессора
Печерской Екатерины Анатольевны

Материалы публикуются в авторской редакции

Корректор *Е. П. Мухина*
Компьютерная верстка *М. Б. Жучковой*
Технический редактор *М. Б. Жучкова*
Дизайн обложки *И. В. Шваревой*

Подписано в печать 27.10.2023.
Формат 60×84¹/₈. Усл. печ. л. 31,85.
Заказ № 556. Тираж 100.

Издательство ПГУ.
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
Тел./факс: (8412) 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru