ISSN 2220-6418

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
АКАДЕМИЯ ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВА РФ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ КОСМОНАВТИКИ
РОССИЙСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО «РОСКОСМОС»
ФИЦ ИУ РАН (ВЦ РАН им. А. А. Дородницына)
АО «УПКБ «ДЕТАЛЬ», ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»
АО «РАДИОЗАВОД», ПЕНЗЕНСКИЙ ФИЛИАЛ ФГУП НТЦ «АТЛАС»
ФГУП ФНПЦ «ПО СТАРТ», АО «НИИЭМП»
АО «ПНИЭИ», АО «НИИФИ», ООО «ПЗТГ»
АО НПП «РУБИН», АО «ПО ЭЛЕКТРОПРИБОР»
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (СамГУПС)
ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Л. Н. Гумилева
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТРУДЫ
МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА

НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО

Посвящается 75-летию Победы
в Великой Отечественной войне

Том 1

ПЕНЗА 2020

УДК 621.396.6:621.315.616.97:658:562
Т78

Труды Международного симпозиума НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО. – 2020. – Т. 1. –
Т78 314 с.

Представлены доклады XXV Международного симпозиума «Надежность и качество», посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, проходившего с 25 мая по 31 мая 2020 г. в г. Пензе.

Рассмотрены актуальные проблемы теории и практики повышения надежности и качества; эффективности внедрения инновационных и информационных технологий в фундаментальных научных и прикладных исследованиях, образовательных и коммуникативных системах и средах, экономике и юриспруденции; методов и средств анализа и прогнозирования показателей надежности и качества приборов, устройств и систем, а также анализа непараметрических моделей и оценки остаточного ресурса изделий двойного назначения; ресурсосбережения; проектирования интеллектуальных экспертных и диагностических систем; систем управления и связи; интерактивных, телекоммуникационных сетей и сервисных систем; экологического мониторинга и контроля состояния окружающей среды и биологических объектов; исследования физико-технологических процессов в науке, технике и технологиях для повышения качества выпускаемых изделий радиопромышленности, приборостроения, аэрокосмического и топливно-энергетического комплексов, электроники и вычислительной техники и др.

УДК 621.396.6:621.315.616.97:658:562

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

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

Редакционная коллегия:

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

© Пензенский государственный университет, 2020

Иван Белозерцев

поздравил жителей Пензенской области с ДНЕМ ПОБЕДЫ

«Каждый из нас испытывает чувство гордости за дедов и прадедов, за ветеранов, подаривших нам возможность жить и трудиться в свободной России — стране победителей! 75 лет назад прогремел торжественный салют в честь Великой Победы. Победы в страшной войне, равной которой по числу жертв и разрушений еще не знало человечество. Именно советский солдат, преодолев все немыслимые испытания и утраты, весной 1945-го избавил мир от фашизма», — отметил И. Белозерцев.

Глава региона напомнил, что на фронт ушли более 300 тысяч жителей Пензенской области, 200 тысяч не вернулись домой.

«Пензенцы внесли весомый вклад в достижение Великой Победы. За ратные подвиги тысячи наших земляков отмечены боевыми наградами, сотни удостоены высокого звания Героя Советского Союза и стали полными кавалерами ордена Славы», — подчеркнул Иван Белозерцев.

Губернатор выразил благодарность ветеранам, отстоявшим независимость Родины на полях сражений, и труженикам тыла.

«Дорогие друзья, от всей души желаю вам крепкого здоровья, счастья, мирного неба над головой!»

Губернатор Пензенской области ***Иван Белозерцев***

ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ, КОЛЛЕГИ!

9 мая мы с вами отмечаем День Победы — без преувеличения, главный праздник всей нашей страны, людей всех поколений, всех профессий, верований и политических взглядов, праздник каждого гражданина в России. «Нет в России семьи такой, где б не памятен был свой герой», — эти слова из песни справедливы для каждого из нас, потому что в этом празднике — наша общая история и личная боль утрат, гордость за великую страну, победившую мировое зло, и за своих родных людей, наших дедов и прадедов, прошедших дорогами той войны и завоевавших для нас мир и свободу. И потому в канун великого праздника хочется сказать теплые слова поздравлений каждому из вас.

Уважаемые ветераны Великой Отечественной войны! Низкий вам поклон за ваш беспримерный подвиг, за ваши мужество, стойкость и преданность Отчизне! Победа, которую подарило миру ваше поколение, дала всем нам возможность жить, работать, любить и радоваться жизни под мирным небом. Мы преклоняемся перед вашим подвигом и памятью ваших боевых друзей, оставшихся на полях сражений. От всего сердца желаем вам доброго здоровья, бодрости, внимания и заботы близких. Живите долго, наши дорогие ветераны!

Наша бесконечная признательность — труженикам тыла! Мы безмерно благодарны вам за ваш самоотверженный труд, за то, что вы в голод и разруху отдавали все свои силы и здоровье ради общей Победы. В тяжелые послевоенные годы вы поднимали из руин разрушенные города, восстанавливали заводы, налаживали разрушенное войной народное хозяйство. Будьте же здоровы, благополучия и спокойствия вам на долгие годы!

Мои юные друзья, студенты и аспиранты Пензенского государственного университета! Будьте достойны подвигов своих дедов и прадедов, чтите память павших бойцов и никогда не забывайте о живых ветеранах, старайтесь проявлять внимание и заботу о них. Это благодаря им вы сегодня имеете возможность учиться, мечтать, любить, строить планы на будущее — пожалуйста, помните об этом каждый день и каждый час своей молодой жизни.

Друзья, нынешний год — год 75-летнего юбилея Великой Победы. Это событие, значимое не только для России, но и для всего человечества. К сожалению, мы отмечаем этот праздник в сложных условиях: из-за пандемии опасной болезни отложены масштабные праздничные мероприятия и перенесен Парад Победы. Но пример наших славных ветеранов учит нас не бояться никаких опасностей и никогда не отступать перед трудностями! Вместе мы сумеем ответить на этот новый вызов и преодолеть любые невзгоды.

Пусть вас не покидает вера в Россию и ее будущее!

С Днем Великой Победы!

С уважением,

ректор Пензенского государственного университета ***А.Д. Гуляков***

10 февраля 2020 года исполнилось 90 лет известному учёному, лауреату Государственной Премии СССР, лауреату Премии Правительства РФ в области науки и техники, лауреату Премии Правительства РФ в области образования, заслуженному деятелю науки и техники РФ, вице-адмиралу, доктору технических наук, профессору, нашему коллеге, учителю и другу ***Николаю Алексеевичу Северцеву.***

Более 35 лет Николай Алексеевич работает в Академии наук, и его вклад в отечественную науку нельзя не оценить. Николай Алексеевич создал научную школу «Фундаментально-прикладные проблемы безопасности, живучести, надежности, устойчивости и эффективности систем». Научная деятельность Николая Алексеевича связана с проблемами безопасности, надёжности и эффективности сложных технических систем, теорией управления эксплуатационными процессами технических систем по их состоянию, развитием теории системного анализа. Николай Алексеевич является одним из создателей статистической теории подобия в задачах безопасности и надежности динамических систем.

Много лет Николай Алексеевич возглавлял отдел нелинейного анализа и проблем безопасности Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН (ныне Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН).

За годы работы Николай Алексеевич опубликовал более 400 работ, среди которых более 30 монографий и учебных пособий и 19 патентов на изобретение.

В настоящее время Н.А. Северцев ведёт активную научную работу в области безопасности и надежности сложных технических систем, в том числе и робототехнических систем. За последний год им подготовлена и издана 21 публикация, в том числе 5 публикаций в журналах ВАК. И он не останавливается на достигнутом! В планах на ближайшее время - применить теоретические разработки по безопасности и надежности к конкретным роботам в Робототехническом центре ФИЦ ИУ РАН.

Мы, коллеги, ученики и друзья от всей души поздравляем Николая Алексеевича с юбилеем! Желаем крепкого здоровья, сил, благополучия, новых выдающихся научных достижений!

ОРГКОМИТЕТ

ЛПУ «Санаторий «Березовая роща»

Здоровье нужно всем беречь
И укрепить его Вам проще
На живописных Сурских берегах —
В Березовой заветной роще!

Лечебный профиль:

- *Болезни органов пищеварения*
- *Болезни органов дыхания*
- *Болезни системы кровообращения*
- *Болезни обмена веществ и эндокринной системы*
- *Болезни нервной системы*
- *Болезни опорно-двигательного аппарата*
- *Болезни женских половых органов*

Организация лечебного питания в санатории является неотъемлемой частью лечебного процесса. Питание назначается с учётом индивидуальности каждого пациента, его заболеваний, как основного, так и сопутствующего.

Питание в здравнице 5-разовое, заказ блюд в пределах допустимой диеты.

Гордостью нашего санатория является Питьевая галерея с минеральными водами из собственных уникальных подземных источников. Целебные силы вод используются для внутреннего применения и бальнеологических целей.

В стоимость путевок входит не менее 10 процедур и постоянный врачебный контроль
А так же в санатории эффективно используются:
•Лазеро-магнито-светолечение
•Экстракорпоральная магнитная стимуляция
•Прессотерапия
•Гидроколонотерапия
•Иглорефлексотерапия
и др. методы лечения

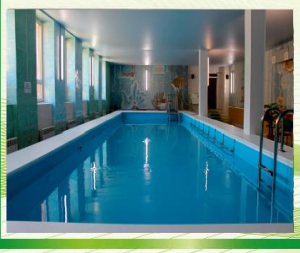
Для проживания и лечения предоставлен восьмиэтажный корпус с 2х-местными и 1-местными номерами различной комфортности, а так же двухкомнатными номерами. В каждом номере имеется телевизор, холодильник, санузел и душ.

В санатории имеется зимний сад, киноконцертный зал на 320 посадочных мест.

В часы досуга у нас разработаны интересные культурно-массовые и спортивные программы, проводятся экскурсии по г. Пенза, Пензенской области, музеи знаменитых писателей, а также в музей-усадьбу «Тарханы».

Зимой - катание на лыжах, коньках, подледная рыбалка. Летом - "тихая" охота, прогулки по лесу.

Работает библиотека, пункт проката спортивного инвентаря, музыкальных инструментов, бытовой техники и др.



Путь следования до санатория:

1. От остановки "Гидрострой" на маршрутном такси № 421.

Время отправления: 6:00, 7:05, 8:30, 10:15, 12:00, 13:30, 14:50, 16:30, 18:00.

2. От железнодорожного вокзала до остановки "Гидрострой" на маршрутном такси №10, далее на маршрутном такси № 421.

3. От аэропорта до остановки "Гидрострой" (3 остановки) на любом транспорте, далее на маршрутном такси № 421.

4. На личном транспорте: двигаться в сторону Аэропорта (район Терновки) до остановки "Гидрострой" (до развилки выезда из города: в Аэропорт - прямо, в санаторий "Березовая Роща" - налево, в сторону п. Шемышейка по трассе 20 км до указателя на санаторий (поворот налево), далее 5 км до санатория.

Профсоюзная здравница Пензенской области

Многоканальный телефон:
8 800 100 84 12

ЛПУ санаторий Березовая Роща

Отдел реализации путевок:
г. Пенза, ул. Советская, 4, к.1
тел/факс: 8 (8412) 56-49-49
Доп. офис:
пос. Березовая роща
тел: 8 (8412) 38-91-04,
www.sn-berezka.ru
e-mail: sn-berezka@mail.ru

ГЛАВА 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ, КАЧЕСТВА, БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 519.718: 519.21

Северцев Н.А.

ФГУ «ФИЦ Информатика и Управление РАН» (ФИЦ ИУ РАН) (Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН), Москва, Россия

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ СЛОЖНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Введение.

Представляется принципиально новый подход к решению задач глобальной оптимизации на основе инверсного метода для задач, в которых на целевую функцию не накладываются какие-либо специальные ограничения. Инверсный метод состоит в представлении варьируемых параметров в виде аппроксимирующих обратных функций, аргументом которых является значение целевой функции, которая изменяется по определенным правилам, образуя частично релаксационную последовательность. Такое представление обратных аппроксимирующих функций позволило избежать просмотра критериальной поверхности на всем допустимом множестве, так как зондирование поверхности осуществляется лишь в направлении улучшения критерия оптимальности. Так как аппроксимирующие функции определяются ограниченным числом свободных параметров, то размерность решаемых задач практически ограничивается возможностями компьютерной техники. По той же причине отсутствуют какие-либо ограничения на вид и особенности целевых функций, что позволяет говорить о новом научном достижении в области численных методов и информатики.

Постановка задачи

Развитие методов поиска глобального экстремума многомерных функций позволяет решать все больший спектр нелинейных задач с негладкими, многоэкстремальными функциями. Ведущее положение здесь занимают методы неравномерных покрытий и их модификации [1, 2], методы, построенные на генетических алгоритмах [3], и на нечетко-нейронных сетях [4, 5].

В данной работе рассматривается применение инверсного метода (метода построения обратных функций) к решению задач глобальной оптимизации. Многочисленные приложения в информатике, показывают, что задача поиска глобального минимума становится тривиальной, если известна функция обратная к целевой функции.

Пусть для непрерывной функции $f: R^n \to R$, ограниченной снизу $f(x) > -\infty$, ставится задача отыскания глобального минимума на допустимом множестве $\boldsymbol{X \subset R^n}$

$$f_* = \underset{x \in X}{globmin} f(x) = f(x_*) \qquad (1)$$

Здесь x^* - любая точка глобального минимума, равного $X\ *$.

В задаче (1) исключаются функции из класса $C^0(x)$, принимающих некоторое постоянное значение ξ_0 на множестве точек X положительной меры, т.е. $m\{x: f(x) = \xi_0\} > 0$.

Определим для этой задачи множество решений X_* и множество ε - оптимальных решений X_ε [2]:

$$X_* = \{x \in X: f(x) = f_*\} \qquad (2)$$

$$X_\varepsilon = \{x \in X: f(x) \le f_* + \varepsilon\}, \varepsilon > 0, X_\varepsilon \neq \emptyset$$

Требуется найти хотя бы одну точку из множества X_ε.

Рассмотрим простой пример функции одной переменной $J = f(x)$. Если на отрезке $[x_1, x_2]$ существует обратная функция $x = f^{-1}(J)$, то вычисляя

$$x^{(k)} = f^{-1}(J^{(k)}) \qquad (3)$$

при последовательном уменьшении значений целевой функций $J^{(k)}$и, проверяя условие $x x(k)_{max_{min}}$, на некотором шаге k=n , найдется приближенное значение $X^{(n)}$ для аргумента целевой функции, такое, что $x^{(n)} \in X_\varepsilon$.

Как правило, обратная функция неизвестна и тогда следует найти аппроксимирующую инверсную оценку. Так в работе [4], такая оценка находится с помощью нечетко-нейронных сетей, которые играют роль аппроксимантов. В данной работе для формирования обратных функций применяется, так называемый, инверсный метод, который значительно проще чем методы нейромоделирования обратных функций.

В теории статистического синтеза сложных систем [6] вводится понятие динамических статистических выборок, подразумевая при этом, что над статистическими выборками могут проводиться различные преобразования (операции). Эти преобразования могут быть одноразовыми или составлять некоторую последовательность, изменяющуюся по определенному алгоритму.

Направленность изменений в таких выборках, определяется свойствами, которыми необходимо наделить функции, восстанавливаемые по соответствующей выборке. Одной из таких операций является операция инверсии, согласно которой формируется обратная выборка, по которой можно сформировать обратную функциональную зависимость. Схематично операция инверсии показана на рис. 1.

Исходная n-переменная выборка объема N имеет вид

x_1	x_2	...	x_n	J

Инверсная выборка объема N определяется в виде

J	x_1	x_2	...	x_n

Рисунок 1 - Схема операции инверсии

Здесь I символьное обозначение операции инверсии

Исходная статистическая выборка строится посредством зондирования функции $f(x), x \in X \subset R^n$ N случайными испытаниями.

Как видно из схемы операции инверсии инверсная выборка формируется простой перестановкой входных данных выборки $x_1,\ x_2, \ldots, x_n$ с выходной переменной J

Операция инверсии статистической выборки позволяет получить не только в аналитическом виде некоторое приближение к обратной функции, но в многомерном случае осуществить редукцию исходной n-мерной функции к последовательности п одномерных обратных функций:

$$J = f(x_1, x_2, \ldots, x_n) \overset{I}{\Rightarrow} x_1 = \phi_1(J), x_2 = \phi_2(J), \ldots, x_n = \phi_n(J) \quad (4)$$

Обратные функции $\phi_i(J), i = \overline{1,n}$ в данном методе строятся в виде гармонического ряда:

$$\phi_i(J) = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^{m} \left[a_j^{(i)} cos(\omega_j^{(i)} \cdot J) + b_j^{(i)} sin(\omega_j^{(i)} \cdot J)\right],$$

$$i = \overline{1,n}$$

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \varphi(x_j)$$

$$a_j^{(i)} = \frac{2}{N} \sum_{l=1}^{N-1} \varphi_1(j) cos(\omega_j^{(i)} * J)$$

$$b_j^{(i)} = \frac{2}{N} \sum_{l=1}^{N-1} \varphi_1(j) sin(\omega_j^{(i)} * J)$$

Определение.

Обратные функции

$\varphi_i(J) = \frac{a_0}{2} + a_i \cdot \cos(\omega_i \cdot J) + b_i \sin(\omega_i \cdot J)$, $i = \overline{1,n}$

локально аппроксимируют функцию $f^{-1}(x)$ на множестве

$$U_\varepsilon = \{x \in X: p(x, x_r) \le \varepsilon\}, \varepsilon > 0$$

если $\left|J^{(k)} - f(x_r)\right| \le \varepsilon$, при $k \to \infty$

Теорема сходимости.

Пусть допустимая точка $\boldsymbol{x_r}$ определяется по последовательности локально аппроксимирующих

функций (5). Тогда, для того чтобы точка x_r была ε- оптимальным решением задачи (1) и на множестве X имела место оценка

$$f(x_r) \geq f_* \geq f(x_r) - \varepsilon$$

достаточно, чтобы процесс построения последовательности точек $\{J^k\}$ был релаксационным, т.е.

$$f(x_{k=1}) \leq f(x_k),\ k = 0,1,\ldots$$

Доказательство.

Покажем, что процесс построения последовательности точек $\{J^k\}$ является релаксационным, т.е.

$$f(x_{k+1}) \leq f(x_k),$$
$$k \in X,\ k = 0,1,$$

Координаты точки рассчитываются по обратной функции вида

$$x_i^{(k)} = \frac{a_0}{2} + a_i^{(k)} \cdot \cos\left(\omega_i^{(k)} \cdot J^{(k)}\right) + b_i^{(k)} \cdot \sin\left(\omega_i^{(k)} \cdot J^{(k)}\right),$$
$$i = \overline{1,n} \qquad (6)$$

Определим текущее рекордное значение функции f(x) в виде

$$J_{\text{пред}}^k = J_{min} - \Delta$$

где A>0, некоторая константа смещения, J_{min} - минимальное значение критерия, полученное по s статистическим испытаниям

$$J_{min} = min\left(J^{(1)}, J^{(2)}, \ldots, J^{(s)}\right)$$

Для формирования s пробных точек проводится зондирование функции $f(x)$, $x \in X \subset R^n$ s статистическими испытаниями. Зондирование осуществляется случайно сгенерированными равномерно распределенными точками в области X.

Координаты точки x_k рассчитываемые по формуле (6) зависят от коэффициентов Фурье $a_i^{(k)}, b_i^{(k)}$и частоты $\omega_i^{(k)}$, $i = \overline{1,n}$ которые выбираются из условия минимизации невязки

$$\delta^{(k)} = \min_{\left\{a_i^{(k)}, b_i^{(k)}, \omega_i^{(k)}\right\} \in P} \left[f\left(x\left(a_i^{(k)}, b_i^{(k)}, \omega_i^{(k)}\right)\right) - J_{\text{пред}}^{(k)}\right]^2$$

где P -параллелепипед, определяемый системой параметрических ограничении:

$$P = \begin{Bmatrix} a_i^{(k)}, b_i^{(k)}, \omega_i^{(k)} \\ a_{i_{min}} \leq a_i^{(k)} \leq a_{i_{max}}, \\ b_{i_{min}} \leq b_i^{(k)} \leq b_{i_{max}}, \\ \omega_{i_{min}} \leq \omega_i^{(k)} \leq \omega_{i_{max}} \end{Bmatrix}$$

Решение задачи (7) осуществляется каким-либо методом локальной оптимизации.

Если $\delta^{(k)} \leq \varepsilon$, $\varepsilon > 0$, то это означает, что рекорд еще не найден. Поэтому осуществляется переход на следующий итерационный шаг к+1, на котором рассчитывается новое смещение

$$J_{\text{пред}}^{(k+1)} = J_{\text{пред}}^{(k)} - \Delta \qquad (8)$$

с дальнейшим решением задачи (7)

Если $\delta^{(k)} > \varepsilon$, то это означает, что рекорд найден и начинается процесс уточнения точки x_r. Уточнение осуществляется смещением рекорда в обратном направлении, в сторону увеличения критерия (для задачи минимизации), по правилу

$$J_{\text{пред}}^{(k+1)} = J_{\text{пред}}^{(k)} + \Delta f \qquad (9)$$

где приращение функции определяется в виде

$$\Delta f = \frac{J_{\text{пред}}^{(k)}}{r^{(k)}}$$

Здесь r есть масштаб поискового шага, который выбирается из условия минимума принятого критерия оптимальности, по правилу

$$r^{(k)} = \frac{a_{0r}}{2} + a_r^{(k)} \cdot \cos\left(\omega_r^{(k)} \cdot J^{(k)}\right) + b_r^{(k)} \cdot \sin\left(\omega_r^{(k)} \cdot J^{(k)}\right),$$

где $a_r^{(k)}, b_r^{(k)}, \omega_r^{(k)}$, также выбираются методом локальной оптимизации

Пусть $f\left(x^{(k)}\right)$ есть значение критерия полученного в результате локальной оптимизации проведенной на k-ом шаге, а $f\left(x^{(k+1)}\right)$есть значение критерия полученного на (к+1)-ом шаге. Релаксационность $f(x_{k+1}) \leq f(x_k)$ процесса построения последовательности точек $\{J^{(k)}\}$ следует из (8).

Имеет место теорема [7], что если для множеств $Y \subset X \subset R^n$ и $X \backslash Y \neq 0$ и для функции z(x), z(y) = 0 для всех $y \in Y$, существует последовательность $\{x_k\} \subset X$, такая что

$$z(x_k) \to 0, \qquad k \to \infty$$

и кроме того для $\forall \varepsilon > 0,\ \exists \delta = \delta(\varepsilon) > 0$, такое что $z(x_k) \geq \delta$ для всех $x_k \in X \backslash U_\varepsilon$, то $\rho(x_k, Y) \to 0,\ k \to \infty$.

Тогда для сходимости релаксационного процесса минимизации функции $f(x)$ на множестве X, достаточно принять [8]

$$z(x) = \left\|f'(x)\right\|^2$$

Теорема сходимости показывает, что последовательный сдвиг критериальных оценок от некоторого, заранее принятого рекорда, приводит к релаксационному процессу построения последовательности точек $\{J^{(k)}\}$.

Количество итераций необходимых для достижения глобального экстремума во многом определяется правилом выбора масштаба поискового шага r. В рассматриваемом методе параметр r выбирается из условия минимума принятого критерия оптимальности, т.е. он включен в список варьируемых параметров и таким образом функция f определяется как отображение

$$f \div R^{n+1} \to R$$

Варьируемые параметры x_i, $i = \overline{1,n+1}$ выбираются, как и ранее по формуле:

$$x_i^{(k)} = \frac{a_0}{2} + a_i^{(k)} \cdot cos(\omega_i^{(k)} \cdot J^{(k)}) + b_i^{(k)} \cdot sin(\omega_i^{(k)} \cdot J^{(k)}),$$
$$i = \overline{1,n+1}$$

Здесь вектор x зависит от следующих параметров

$$x_i = x_i(a_i, b_i, \omega_i), i = \overline{1,n+1}.$$

Все параметры $a_i, b_i, \omega_i, i = \overline{1,n+1}$ выбираются блоком локальной оптимизации. Процесс локальной оптимизации реализован на допустимом множестве P, которое дополняется параметрическими и функциональными ограничениями:

$$X = \{x \in R^{n+1} : a_i \leq x_i \leq b_i, i = \overline{1,n}; g(x) \leq 0_m\},$$

где $g(x): R^{n+1} \to R^m$ непрерывная вектор-функция функциональных ограничений.

Приведем базовый вариант алгоритма метода, в котором варьируемыми параметрами в локальной оптимизации, являются коэффициенты a_i, b_i и частота $\omega_i, i = \overline{1,n+1}$.

Алгоритм *SIS*

Входные параметры:

P - исходный параллелепипед, ε - заданная точность по целевой функции.

Выходные параметры:

x_r-рекордная точка, J^* - значение глобального минимума.

Определить начальное $(k = 1)$рекордное значение критериальной функции $J_{пред}^{(1)}$.

Задать аргументы $x_i^{(k)}, i = \overline{1,n}$ задачи (1) в виде обратных функций представленных тригонометрическими полиномами:

$$x_i^{(k)} = \frac{a_o}{2} + a_i^{(k)} \cdot cos(\omega_i^{(k)} \cdot J^{(k)}) + b_i^{(k)} \cdot sin(\omega_i^{(k)} \cdot J^{(k)}), i = \overline{1,n}$$

Сделать замену переменных $x_i, i = \overline{1,n}$ в критериальной функции $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ по правилу из п. 2

Провести локальную оптимизацию по критерию невязки

$$\delta^{(k)} = \min_{\{a_i, b_i, \omega_i\} \in P} \left[f\left(x^{(k)}(a_i, b_i, \omega)\right) - J_{\text{пред}}^{(k)}\right]^2, i = \overline{1,n}$$

Если в п. 4. найдено s-оптимальное решение, то перейти ко второй итерации, взяв $k = k + 1$ и приняв в качестве нового рекорда

$$J_{\text{пред}}^{(k+1)} = J_{\text{пред}}^{(k)} - \Delta$$

где Δ - параметр метода. Перейти к п. 2.

Если в п. 4. ε -оптимальное решение не найдено, то это означает, что процесс определения рекорда $J_{пред}^{(k)}$ окончен и $J_{пред}^{(k+1)}$ увеличивается по правилу

$$J_{\text{пред}}^{(k+1)} = J_{\text{пред}}^{(k)} + \frac{J_{\text{пред}}^{(k)}}{r}$$

и осуществляется переход к п. 2.

Если ε -оптимальное решение найдено, то завершить работу алгоритма.

Разработанный метод поиска глобального экстремума на основе инверсных функций был апробирован на ряде модельных задач, содержащих гладкие и негладкие целевые функции различного вида,

заданных на ограниченных односвязных областях $P \subseteq R^n$, где n изменялось от 2 до 5000.

Гладкая многоэкстремальная функция. Целевая функция задана аналитическим выражением:

$$f(x) = -\frac{1}{(\frac{x_1^2+x_2^2}{200} - cos(x_1)\cdot cos(\frac{x_2}{\sqrt{2}}) + 2},$$

$$-100 \le x_i \le 100, \quad i = 1,2$$

Точное решение $f_{min} = -1$, $x_1 = x_2 = -1$

SIS: $min\, f = -1$, $x_1 = -4{,}2289 \cdot 10^{-6}$, $x_2 = -4{,}0930 \cdot 10^{-5}$.

2.

$$f(x) = x^2 + sin(exp(x^2)), x \in [-100{,}100], n = 1$$

SIS: $min\, f = 0{,}526476$, при $x = 1{,}225289$

3.

$$f(x) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 + x_6^2 + x_7^2 + x_8^2 - 0{,}1\, cos(3x_1) - 0{,}2\, cos(2x_2) - 0{,}2\, cos(5x_3) - 0{,}4\, cos(x_4) - -0{,}1\, cos(2x_5) - 0{,}2\, cos(3x_6) - 0{,}1\, cos(4x_7) - 0{,}1\, cos(x_8) 0.5 \le x_i \le 1, i = \overline{1{,}8}$$

Точное решение: $min\, f = -1.4$, при $x_i = 0, i = \overline{1{,}8}$

SIS: $min\, f = -1.4$, при $x_1 = -1{,}4478 \cdot 10^{-5}$, $x_2 = -2.1462 \cdot 10^{-5}$, $x_3 = -1{,}4478 \cdot 10^{-4}$, $x_4 = -1.0738 \cdot 10^{-4}$, $x_5 = -1{,}5543 \cdot 10^{-4}$, $x_6 = -5.4543 \cdot 10^{-6}$, $x_7 = -4{,}9669 \cdot 10^{-5}$, $x_8 = -1{,}9654 \cdot 10^{-4}$.

4.

$$f(x) = \left(4 - 2.1x_1^2 + \frac{x_1^4}{3}\right)x_1^2 + x_1x_2 + (-4 + 4x_2^2),$$

$$-100 \le x_i \le 100, i = 1,2$$

Точное решение: $min\, f = -1{,}03628$, при $x_1 = -0{,}089 x_2 = -0{,}7126$

SIS: $min\, f = -1{,}0316$, при $x_1 = -0{,}089$, $x_2 = -0.7126$

На отрезке $-1000 \le x_i \le 1000$, $i = 1,2$

SIS: $min\, f = -1{,}0274$, при $x_1 = -0{,}089$ $x_2 = -0{,}7126$

5.

$$g_1 = -7\, exp(-3(|x_1 + 1|)^{0,6} + (|x_2 + 1|)^{0,6})$$
$$g_2 = -7\, exp(-2(|x_1 + x_2|))$$
$$g_3 = -7\, exp(-2.5(|x_1 - 1|)^{0,8} + (|x_2 - 1|)^{0,8})$$
$$g_4 = -3\, exp(-3(|x_1 - 2|)^{0,9} + (|x_2 - 2|)^{0,9})$$
$$f(x_1, x_2) = g_1 + g_2 + g_3 + g_4, -100 \le x_i \le 100, i = 1,2$$

SIS: $min\, f = -7{,}533266$, при $x_1 = -1{,}000002$, $x_2 = -1{,}000003$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{i} x_i^2, x_i \in [-100{,}100]$$

Точное решение: $min\, f = 0$, при $x_i = 0, i = \overline{1,n}$

n	Numerica	SIS
5	$f = 0{,}1$	$f = 1 \cdot 10^{-6}$
10	$f = 3{,}7$	$f = 1{,}3 \cdot 10^{-4}$
15		$f = 0.8 \cdot 10^{-2}$

Функция Экли

$$f(x) = -20\, exp\left(-0{,}2\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^2}\right) - exp\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} cos(2\pi x_i)\right) + 20 + exp(1), x_i = [-33{,}33]$$

Точное решение: $min\, f = 0$, при $x_i = 0, = \overline{1,n}$

n	Numerica	SIS
5	$f = 0{,}4$	$f = 1 \cdot 10^{-4}$
10	$f = 1{,}2$	$f = 0.6 \cdot 10^{-4}$
15	$f = 3{,}6$	$f = 1{,}4 \cdot 10^{-2}$

8.

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n} x_i^2, x_i \in [-100{,}100]$$

Точное решение: $min\, f = 0$, при $x_i = 0, = \overline{1,n}$

n	Numerica	SIS	Число итераций
5	$f = 0{,}4$	$f = 1 \cdot 10^{-4}$	
200	$f = 1{,}2$	$f = 0.6 \cdot 10^{-4}$	
3000	$f = 3{,}6$	$f = 1{,}4 \cdot 10^{-2}$	
5000		$f = 1{,}917 \cdot 10^{-2}$	80 ⇄ 246469

Рассматривается задача минимизации функции с двумя функциональными ограничениями [2]:

$$f(x) = x_i \to min,$$
$$g_1(x) = (x_1 - 5)^2 + 2(x_2 - 5)^2 + (x_3 - 5)^2 - 18 \le 0$$
$$g_2(x) = 100 - (x_1 + 7 - 2x_2)^2 - 4(2x_1 + x_2 - 11)^2 - 5(x_3 - 5)^2 \le 0$$

Данная задача решалась без введения условия целочисленности аргументов, как это сделано в [2].

Множество P представлено параллелипедом $-10 \le x_i \le 10, i = 1,2,3$ Для решения данной задачи был применен метод штрафных функций:

$$L = x_1 + \alpha_1 \cdot g_1^2(x) + \alpha_2 g_2^2(x)$$

Здесь α_1, α_2 - штрафные коэффициенты, выбираемые по правилу:

$$\alpha_2 = \begin{cases} 0, \text{если ограничение } g_2(x) \text{ выполняется} \\ 1, \text{в противном случае} \end{cases}$$

За 18946 итераций была определена допустимая точка:

$x_* = (1.223952,\ 3.583859,\ 5.029503)$,

При этом функциональные ограничения приняли значения:

$g_1(x_*) = -5.647946$, $g_2(x_*) = -23{,}77913$.

Рассматривается актуальная задача глобальной оптимизации в молекулярной биологии, размерность которой имеет порядок 6-N, где N - количество аминокислотных остатков в полимерной цепи белка. Средний размер полимерной цепи белка составляет около 200 аминокислотных остатков и таким образом актуальные для молекулярной биологии оптимизационные задачи имеют размерность, как минимум, несколько сотен независимых степеней свободы. Такого рода задачи весьма эффективно описываются стандартной тестовой функцией с произвольно изменяемым количеством переменных и локальных минимумов, а также с известным положением глобального минимума в точке $x_i = 1, = \overline{1,n}$, п. Функция имеет вид:

$$f(x) = sin^2(\pi \cdot y_1) + \sum_{i=1}^{n-1}(y_i - 1)^2(1 + 10\, sin^2(\pi \cdot y_{i+1})) + (y_n 1),$$

$$y_i = 1 + \frac{(x_i - 1}{4}, -10 \le x_i \le 10, i = \overline{1,n}$$

Данная задача была решена инверсным методом, для случая 1000 переменных,

n =1000, при этом были получены следующие результаты.

$min\, f$= 9,030409-10^{-5}

x_1= 0.999, x_2 = 1.001, x_3= 1.001, x_4= 1.000, x_5= 1.000, x_6= 0.998, x_7= 1.001, x_8= 0.998, x_{997} = 1.000, x_{998}= 0.998, x_{999}= 1.001, x_{1000}= 0.998,

Данный результат был получен за 10 804 951 итераций.

Таким образом, предложенный подход позволил избежать просмотра критериальной поверхности на всем допустимом множестве, так как зондирование поверхности осуществляется лишь в направлении улучшения критерия оптимальности, при этом аппроксимирующие функции определены ограниченным числом свободных параметров, что объясняет почему размерность решаемых задач ограничивается практическими возможностями компьютерной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евтушенко, Ю.Г. Методы поиска глобального экстремума/ Ю.Г. Евтушенко//Исследование операций, вып. 4. М., ВЦ АН СССР, 1974, -С. 39-68.

2. Евтушенко, Ю.Г. Варианты метода неравномерных покрытий для глобальной оптимизации частично-целочисленных нелинейных задач/ Ю.Г.Евтушенко, М.А. Посыпкин//Доклады Академии наук, 2011, том 437, №2, -С.168-172

3. Курейчик, В.М. Генетические алгоритмы: состояние искусства, проблемы и перспективы/В.М. Курейчик//Известия Академии наук. Теория и системы управления, 1999, № 1, - С. 144-160.

4. Кошур, В.Д. Адаптивный алгоритм глобальной оптимизации на основе взвешенного усреднения координат и нечетко-нейронных сетей/ В.Д. Кошур//Нейроинформатика, 2006, том 1, №2, -С. 106-123

5. Рутковская, Д., Пилинский М., Рутковский Л., Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечетные системы. М.: Горячая линия - Телеком, 2004, - 454 с.

6. Балык, В.М. Статистический синтез проектных решений при разработке сложных систем/В.М. Балык//-М.: Изд-во МАИ, 2011, - 280 с.

7. Карманов, В.Г. Математическое программирование/В.Г. Карманов// М.: Наука, 1980, - 256 с.

8. Блинов, А.В. Информационные особенности многоэкстремальных функций для описания показателей функционирования компонентов ИИС (статья)/ А.В. Блинов, А.Т. Ерохин, Н.К. Юрков// Измерительная техника, М.: 2000, № 8. - С. 19-22.

УДК 65.012.122

Абрамов О.В.

ФГУН «Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук» (ИАПУ ДВО РАН), Владивосток, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНИМАКСНОГО РЕКУРРЕНТНОГО АЛГОРИТМА ПРОГНОЗА В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается задача индивидуального прогнозирования состояния и планирования эксплуатации (технического обслуживания по фактическому состоянию) сложных технических систем ответственного назначения. Подход к решению этой задачи основан на построении специальных минимаксных и робастных алгоритмов, которые могут быть использованы в случае, когда данные контроля технического состояния являются неполными и недостаточными.

Ключевые слова:

ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, ПАРАМЕТР, ВЕРОЯТНОСТЬ, СЛУЧАЙНЫЙ ПРОЦЕСС, ПРОГНОЗ, ОПТИМИЗАЦИЯ, МИНИМАКСНЫЙ АЛГОРИТМ, НАДЕЖНОСТЬ, РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

Стратегия планирования эксплуатации технических систем в зависимости от их фактического состояния привлекает в последнее время всё большее внимание специалистов. Такую стратегию называют еще индивидуальной, поскольку она ориентирована на реальное состояние и учитывает особенности данной конкретной системы, а не опыт эксплуатации аналогичных систем и статистические данные, для корректного использования которых необходима статистическая однородность и существенный объём используемой информации [1,2].

Эффект от перехода к индивидуальному принципу назначения моментов технического обслуживания определяется главным образом следующими факторами:

а) возможностью в наибольшей степени использовать ресурс каждого отдельного объекта, что достигается уменьшением числа преждевременных вмешательств в его работу;

б) возможностью предотвращения отказов, что обеспечивается своевременным проведением профилактических (предупредительных) мероприятий.

Индивидуальное планирование эксплуатации возможно при условии получения текущей информации о действительном техническом состоянии каждого объекта, т.е. реализация индивидуальной стратегии эксплуатации требует непрерывного или дискретного контроля и анализа состояния объекта. Предполагается, что реальное техническое состояние объекта можно оценить по результатам контроля (измерения) его параметров, а прогнозирование их изменений позволяет эксплуатировать объект до появления признаков опасного снижения надежности, исключив при этом преждевременные демонтажи узлов и агрегатов, а также выполнение других трудоемких работ, имеющих зачастую сомнительную полезность для надежности функционирования.

Прогнозирование состояния и надежности играет важную роль при индивидуальном планировании эксплуатации. Умение предсказать возможный момент отказа особенно важно для объектов ответственного назначения, потеря работоспособности которых связана с большими материальными потерями или катастрофическими последствиями. Предотвращение отказов является для таких объектов первостепенной задачей. Вместе с тем специфика эксплуатации многих из них не позволяет решить эту задачу даже при непрерывном контроле их состояния, поскольку в течение определенных промежутков времени эксплуатации техническое обслуживание становится невозможным (летательных аппаратов – во время полета, надводных и подводных судов – во время рейса, радиоэлектронной аппаратуры в течение сеанса связи или слежения за целью и т.д.).

Для многих технических объектов непрерывный контроль осуществить невозможно, а при дискретном контроле каждая оценка их фактического состояния часто связана с существенными материальными затратами. В этих случаях прогнозирование позволяет решать задачу назначения оптимальных моментов контроля, в промежутках между которыми не произойдет отказа.

Основные трудности при решении задачи прогнозирования для синтеза стратегии эксплуатации по состоянию связаны с тем, что прогноз приходится осуществлять для каждого объекта индивидуально, при малых объемах исходной информации (по небольшому набору результатов контроля), и в присутствии помех (ошибок контроля), статистические свойства которых достоверно не известны. В этих условиях классические методы математической статистики и теории случайных процессов теряют свои привлекательные свойства, а их использование для прогнозирования приводит к существенным ошибкам и невысокой достоверности прогноза.

Ниже будут рассмотрены некоторые подходы к решению задачи индивидуального прогнозирования и планирования эксплуатации при дефиците и неполной достоверности исходной информации, позволяющие получать в этих условиях достаточно надежные результаты.

Общая постановка задачи индивидуального прогнозирования

В общем виде задача индивидуального прогнозирования сводится к оценке, наблюдаемой в присутствии ошибок на интервале $T_p \subset T$, где T – интервал эксплуатации, реализации случайного процесса дрейфа выходных координат объекта $\mathbf{y}(t)$ при $t \in T \setminus T_p$. Рассмотрим постановку такой задачи.

Пусть изменения состояния объекта на интервале эксплуатации могут быть описаны как

$$y(t) = \boldsymbol{a}^T \cdot \boldsymbol{u}(t) + h(t), \quad t \in T, \tag{1}$$

где $\boldsymbol{a} = \{a_j\}_{j=0}^n$ – набор случайных коэффициентов;

$\boldsymbol{u} = \{u_j(t)\}_{j=0}^n$ – непрерывные детерминированные функции времени;

$h(t)$ – ошибка модели, для которой выполняется условие

$$|h(t)| \le f(t), \tag{2}$$

где $f(t)$ – известная (заданная) функция. Представление (1) можно рассматривать как некоторое разложение $y(t)$ по координатному базису $\{u_j(t)\}_{j=0}^n$, образующему на интервале T систему функций Чебышева.

Реализация случайного процесса $y(t)$ наблюдается на интервале $T_p \subset T$ с аддитивной ошибкой $e(t)$. Наблюдения образуют последовательность $\boldsymbol{z} = \{z(t_k)\}_{k=1}^p$, $t_k \in T_p \subset T$. Вероятностные свойства ошибки $e(t)$ не определены, а известно только, что

$$|\boldsymbol{e}(t_k)| \le c(t_k), \quad t_k \in T_p \subset T, \tag{3}$$

где $c(t)$ – заданная функция.

Модель (1) , ограничения (2), (3) на помехи и измерения $\mathbf{z}$, $t_k \in T_p \subset T$ составляют совокупность исходных сведений для решения задачи индивиду-

ального прогнозирования. Ограниченность и неопределенность этих сведений, в частности, отсутствие достоверных сведений о вероятностных характеристиках возмущающих факторов затрудняет получение оценок $\boldsymbol{y}(t)$, $t \in T \backslash T_p$ с использованием известных статистических методов таких, как методы наименьших квадратов, наименьших модулей и других. Более пригодным здесь может быть построение искомых оценок из расчета на "наихудший" случай, т.е. на основе принципа минимакса [3].

Рассмотрим некоторые возможности поиска минимаксных оценок $\boldsymbol{y}(t)$, $t \in T \backslash T_p$.

Рекуррентный алгоритм индивидуального прогноза

Рекуррентный минимаксный алгоритм индивидуального прогнозирования можно построить как некоторый оптимальный фильтр. Такие фильтры известны в теории и практике управления. В частности, за базовый здесь можно взять минимаксный фильтр, предназначенный для идентификации объектов управления [4].

С учетом структуры данного фильтра построение на его основе алгоритма индивидуального прогнозирования состояния объекта требует представления модели прогнозируемого процесса в разностной форме и описания ограничений на величины модельных ошибок и ошибок контроля в виде некоторых эллипсоидов [4].

Приведение модели (1) к разностной форме несложно выполнить, рассматривая коэффициенты $\{a_j\}_{j=0}^{n}$ как параметры пространства состояния. При этом прогнозирование состояния технического объекта сводится к определению $\boldsymbol{\alpha}$ по данным наблюдений $\{z(t_k)\}_{k=1}^{p}$, т.е. к решению задачи, исходным для которого является

$$\boldsymbol{\alpha}_{j+1} = \Phi \boldsymbol{a}_t + \boldsymbol{h}_t^*, \quad \boldsymbol{Z}_t^* = H_t \cdot \boldsymbol{a}_t + \boldsymbol{e}_t^*, \qquad (6)$$

где Ф=I – единичная матрица,

$\boldsymbol{h}_t^* = \{h_t^*\}_{j=0}^{n}$ – ошибки модели,

$\boldsymbol{z}_t^*$ – вектор наблюдений,

$$\boldsymbol{z}_t^* = \{z(t_s)\}_{s=k}^{k+n+1}, \quad k = \overline{1, p-n-1}, \quad t_s \in T_p \subset T, \quad n+1 \geq 2,$$

$$\boldsymbol{e}_t^* = \{e(t_s)\}_{s=k}^{k+n+1}, \quad k = \overline{1, p-n-1}, \quad t_s \in T_p \subset T, \quad n+1 \geq 2,$$

$\boldsymbol{e}_t^*$ – ошибки контроля, $H_t = \boldsymbol{\varphi}_t^T \otimes \mathrm{I}$ (⊗ – кронекковское произведение матриц), $\boldsymbol{\varphi}_t^T = \{\phi_j\}_{j=0}^{n}$, $t \in T_p \subset T$.

Ограничения на $\boldsymbol{h}_t^*$ и $\boldsymbol{e}_t^*$ в (4) должны быть заданы как

$$Q = \cup_{t \in T_p} \{G_t(B_t \cdot \boldsymbol{b}_t) \cap F_t(\Gamma_t, \Gamma_t)\} \leq r^2, \qquad (7)$$

где $\boldsymbol{h}_t^*$, $\boldsymbol{e}_t^* \in Q$, $\forall t \in T_p$; G_t и F_t – эллипсоиды с параметрами B_t, $\boldsymbol{b}_t$ и Γ_t, Γ_t соответственно; r – некоторая известная постоянная.

Переход от описаний (2), (3) к описанию (7) можно осуществить, построив с учетом (2) и (3) область вариаций значений для $\boldsymbol{h}_t^*$ и $\boldsymbol{e}_t^*$ как

$$Q^* = \cup_{t \in T_p} (G_t^* \cup F_t^*),$$

где G_t^* и F_t^* – ортогональные параллелепипеды, и аппроксимировав G_t^* и F_t^* описанными эллипсоидами G_t и F_t. С точки зрения минимаксного подхода такая аппроксимация вполне допустима, т.к. она не приводит к снижению достоверности исходной информации.

Построение $G_t^* \ni \boldsymbol{h}_t^*$ несложно выполнить на основе решения задач линейного программирования вида:

$$\{h_i\}_{i=0}^{n} \Rightarrow max \text{ и } \{h_i\}_{i=0}^{n} \Rightarrow min \qquad (8)$$

при ограничениях

$$\boldsymbol{h}_t^* \cdot \boldsymbol{u}_t \leq f_t, \quad t \in T_p \subset T$$

Параллелепипед $F_t^* \ni \boldsymbol{e}_t^*$ определяет условие

$$\left|\{e(t_s)\}_{s=k}^{k+n+1}\right| \leq \{c(t_s)\}_{s=k}^{k+n+1}, \quad k = \overline{1, p-n-1}.$$

Описание эллипсоидов G_t и F_t вокруг найденных параллелепипедов G_t^* и F_t^* можно осуществить, пользуясь следующим правилом [4].

Для параллелепипеда $\Pi(\boldsymbol{V}, \boldsymbol{d}) = \{\boldsymbol{x} \in R^{n+1} : \boldsymbol{V}_i \leq x_i \leq \boldsymbol{d}_i,\ i = \overline{0,m}\}$ оптимальный (минимально описанный) по критерию g_α (α – параметр минимизации) эллипсоид $E(\boldsymbol{q}, L)$, где L – диагональная матрица $l_{ij}=l_i$, $i=j$, $i,j = \overline{0,n}$ определяют параметры

$$q = (\boldsymbol{V}, \boldsymbol{d})/2, l_i = \beta_i^{-\frac{2}{1+\alpha}} \{\sum_{i=0}^{n} \beta_i^{\frac{2\alpha}{1+\alpha}}\}^{-1},$$

$$\beta_i = (\boldsymbol{d}_i - \boldsymbol{V}_i)/2, \quad i = \overline{0,n}. \qquad (9)$$

Для эллипсоида минимального объема, т.е. при α=0,

$$l_i = (n+1)^{-1} \cdot \beta_i, \quad i = \overline{0,n}.$$

Использование соотношений (9) позволяет описать область возможных значений ошибок $\boldsymbol{h}_t^*$ и $\boldsymbol{e}_t^*$ в виде (7) и построить рекуррентный минимаксный фильтр для нахождения результата прогноза состояния технической системы как оценки коэффициентов $\{a_i\}_{i=0}^{n}$ используемой модели изменения технического состояния (1). Такие оценки можно получить в виде линейной функции наблюдений $\{z(t_k)\}_{k=1}^{p}$, $t_k \in T_p \subset T$, т.е. как

$$\boldsymbol{a}^{a^T} = W^* \boldsymbol{Z}^* + \boldsymbol{U}^*,$$

где W^* – весовая матрица оптимального фильтра; $\boldsymbol{U}^*$ – вектор настройки оптимального фильтра.

Поиск W^* и U^*, определяющих структуру рассматриваемого алгоритма прогноза, составляет задачу

$$\gamma(W^* \boldsymbol{U}^*) = arg \min_{V,U} \sup_{\xi_t^*, \varepsilon_t^*} \|\boldsymbol{a}(\boldsymbol{h}_t^*, \boldsymbol{e}_t^*) - (W \boldsymbol{Z}^* + \boldsymbol{U})\| \qquad (10)$$

Нахождение W^*и $\boldsymbol{U}^*$ обеспечивает оптимальность $\boldsymbol{a}^{a^T}$, исходя из минимума максимально возможной ошибки оценивания $\gamma(W^*, U^*)$, т.е. по минимаксному критерию.

Решением (10) являются рекуррентные соотношения, по форме аналогичные соотношениям, определяющим известный фильтр Калмана-Бьюси [5]. Соответствующие аналогии можно обнаружить и при исследовании свойств получаемых оценок $\boldsymbol{a}^{a^T}$. В частности, такие оценки являются однозначными, несмещенными и удовлетворяют условию сходимости [4]. Следовательно, алгоритм прогноза состояния, построенный на основе использования $\boldsymbol{a}^{a^T}$, также будет обладать всеми перечисленными свойствами.

Следует отметить важную с точки зрения практики особенность предоставленного алгоритма его адаптивность. Данная особенность вытекает из рекуррентности алгоритма и позволяет применять при прогнозе без существенного снижения достоверности получаемых результатов модели $y(t)$ вида (1) не выше 1-го порядка, т.е. линейные.

Результаты минимаксного индивидуального прогноза могут служить основой для формирования по принципу минимакса (максимина) индивидуальной стратегии управления эксплуатацией технического объекта, т.е. для планирования обслуживания по состоянию. Такая стратегия (правило проведения мероприятий по техническому обслуживанию) должна гарантировать сохранение оптимального (в смысле некоторого минимаксного или максиминного критерия) качества функционирования объекта на множестве T в диапазоне условий, при которых $\boldsymbol{y}(t)_- \leq \boldsymbol{y}(t) \leq \boldsymbol{y}(t)_+$, где $\boldsymbol{y}(t)_-, \boldsymbol{y}(t)_+$ – прогнозируемые пределы возможных изменений параметров технического объекта [6,7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов О.В. К проблеме предотвращения аварий технических объектов ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 1. С. 11-16.

2. Абрамов О.В. Контроль и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 4. С. 108-115.

3. Фомин В.Н. Рекуррентное оценивание и адаптивная фильтрация. М.: Наука, 1984. 288 с.

4. Киселев О.Н., Поляк Б.Т. Эллипсоидальное оценивание по обобщенному критерию // Автоматика и телемеханика. 1991. № 9. С.133-145.

5. Браммер К., Зифлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси. М.: Наука, 1982.

6. Абрамов О.В. Управление состоянием сложных технических систем // Труды международного симпозиума "Надежность и качество 2010". – 24-31 мая, г. Пенза. – Пенза: ПГУ, 2010. Т.I. С. 24-26.

7. Абрамов О.В. Выбор оптимальных значений параметров настройки технических устройств и систем // Автоматика и телемеханика. 2016. №4. С. 55-66.

УДК 621.317.75

Юрков Н.К.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ МЕЖМОДЕЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Современные системы проектирования созданы в разное время, разными командами, работают под управлением разных операционных систем, используют разнообразные системы координат, системы мер, обозначений элементов, материалов и т.д., и т.п. При этом в процессе проектирования сложного продукта подобные системы автоматизированного проектирования должны передавать данные друг другу, а при этом проектирование процесс итерационный, то каждый шаг передачи информации о проектируемом изделии оборачивается некоторой ошибкой, вызываемой погрешностью преобразования, что в конечном счете может свести на нет все усилия разработчиков по повышению точности моделирования на каждом этапе жизненного цикла сложного наукоемкого изделия, к которым, несомненно, относятся системы радиоэлектронного управления систем ответственного назначения. Поэтому проблема межмодельного взаимодействия, несмотря на ускоренное развитие систем автоматизированного проектирования (САПР), не становится менее заметной [1].

Сложные технические системы в процессе эксплуатации подвергаются детерминированным и стохастическим внешним воздействиям, приводящим к повреждениям элементов и связей различного вида: износу, поломке, засорению, выгоранию, обрыву и т.п. Накапливаясь, повреждения приводят к отказу – нарушению работоспособности объекта, которое определяется перечнем заданных параметров и допустимыми пределами их изменения [2]. Нарушение работоспособности может произойти при выходе значения хотя бы одного параметра за пределы, установленные требованиями нормативно-технической документации. Признаки, позволяющие установить факт такого нарушения, являются критериями отказа. Для сложных технических систем (СТС) этот критерий отказоустойчивости не всегда показателен, поскольку нарушение работоспособности отдельного элемента может не сказаться на работоспособности всей системы в целом [3]. При принятии решения об адекватности генерируемых в САПР вариантов СТС существенную роль может сыграть информация об их стойкости к возможным повреждениям при будущей эксплуатации. Это связано, прежде всего, с тем, что такие системы, как правило, проектируют с запасом отказоустойчивости, т.е. набор элементов системы и связей между ними должны гарантировать ее живучесть при отказе каких-либо компонентов. Такая информация на этапе проектирования в современной конструкторской практике выражается определенным набором косвенных показателей, оценка по которым не всегда определяет оптимальный выбор конструкции СТС. Для возможности обеспечения простого сравнения проектных решений необходимо, чтобы эта информация была представлена некоторым критерием, непосредственно связанным с текущим вариантом конструкции объекта проектирования и условиями будущей эксплуатации самой системы.

В СТС возможно большое количество мест повреждений. Вероятность ее безотказной работы может быть оценена статистически в результате проведения серии экспериментов, связывающих отказоустойчивость с количеством возникших повреждений [4], при этом p — статистическая оценка вероятности отказа системы; n — количество отказавших элементов и/или связей между ними; n_1 — максимальное количество отказавших элементов и/или связей, при которых вероятность отказа равна нулю; n_2 — минимальное количество отказавших элементов и/или связей, при которых вероятность отказа равна единице. Полученное семейство экспериментальных точек условно разбито на три зоны:

— зона I: $0 \le n \le n_1$; $p = 0$ — повреждений не больше, чем n_1; система абсолютно работоспособна;

— зона II: $n_1 < n < n_2$; $0 < p < 1$ — повреждений больше, чем n_1, но меньше, чем n_2; система сохраняет работоспособность лишь при некотором наборе этих повреждений;

— зона III: $n_2 \le n$; $p = 1$ — повреждений больше, чем $n_2 - 1$; система неработоспособна при любом их наборе.

Таким образом, возможен подход, согласно которого на основе критериев сложных технических систем на этапе проектирования и расчета удается выбрать оптимальную конструкцию, оценить ее отказоустойчивость при соответствующих режимах эксплуатации, определить режимы техобслуживания и техосмотров на разных этапах жизненного цикла СТС, разработать рекомендации по осуществлению плановых и капитальных ремонтов [5].

Дальнейшее развитие подобного подхода предполагаем возможность синтеза оптимального по критерию надежности изделия, обладающего запасами прочностей, но не за счет прямого резервирования отдельных элементов и/или узлов, а за счет реформирования структуры и создания элементов схем, способных восстановить функционирование устройства.

Цель – получить готовое изделие без обязательных доработок проекта на стадиях жизненного цикла, после изготовления опытного образца (уменьшить количество доводок изделия на реальном образце). Для этого необходимо повысить точность моделей, а главное снизить суммарную погрешность моделирования, возникающую и накапливающуюся при переходе цифровой модели изделия из одного пакета прикладных программ в другой [6].

Теория межмодельного взаимодействия (ММВ) позволяет улучшить качество моделирования на последующем этапе жизненного цикла (ЖЦ) изделия за счет оптимизации процесса моделирования на предшествующем этапе, а также получить результаты моделирования с предшествующего этапа, уточняющие требования к моделям последующих этапов ЖЦ [7]. При этом каждая модель повышает точность моделирования последующего этапа.

Работа с современными компьютерными системами инженерного анализа (Computer-Aided Engineering, CAE) остается крайне трудоёмким и наукоёмким процессом, требующим наличия большого опыта в той области знаний, в которой проводится моделирование. Также, несмотря на значительно возросшую производительность вычислительной техники, ее мощностей на данном этапе развития все еще остается недостаточно для построения модели физико-химических процессов, позволяющей в полном объеме отразить все свойства реального радиоэлектронного узла (РЭУ) с максимальной точностью. Это является достаточно серьезной проблемой, так как для получения точных результатов расчета необходимо, чтобы расчетная модель максимально точно отражала характеристики реального объекта со всех сторон оценки происходящих в них производительных процессов, так и процессов деградации их физико-химических параметров [8].

На сегодняшний день отработанными в некоторой степени можно считать только оценку механических параметров РЭС. На сегодня для проведения механических расчетов в основном используются упрощенные с геометрической точки зрения модели. Процесс упрощения исходной модели требует тесного сотрудничества конструктора и расчётчика, так как зачастую при упрощении модели человек без конструкторского опыта может кардинально изменить модель, а, следовательно, и изменить адекватность последующих результатов, полученных при ее расчете в CAE-системе [9].

Для большинства материалов несущих конструкций РЭС в справочной литературе отсутствуют необходимые для моделирования физико-механические параметры: модуль упругости и коэффициент Пуассона, плотность и коэффициент механических потерь (КМП), коэффициент зависимости КМП от механического напряжения. В связи с чем производится идентификация физико-механических параметров математических моделей РЭС осуществляется в программе (как например, в системе АСОНИКА-ИД). Подсистема сопоставляет экспериментальные данные и результаты математического моделирования, и определяет с высокой степенью точности вышеуказанные параметры математических моделей РЭС при воздействии различных дестабилизирующих факторов (гармонической вибрации и ударе) [10].

Алгоритм идентификации физико-механических параметров математических моделей и моделирования механических процессов в печатных узлах, блоках и шкафах РЭС на ранних этапах проектирования в виде блок-схемы представлен на рис. 1.

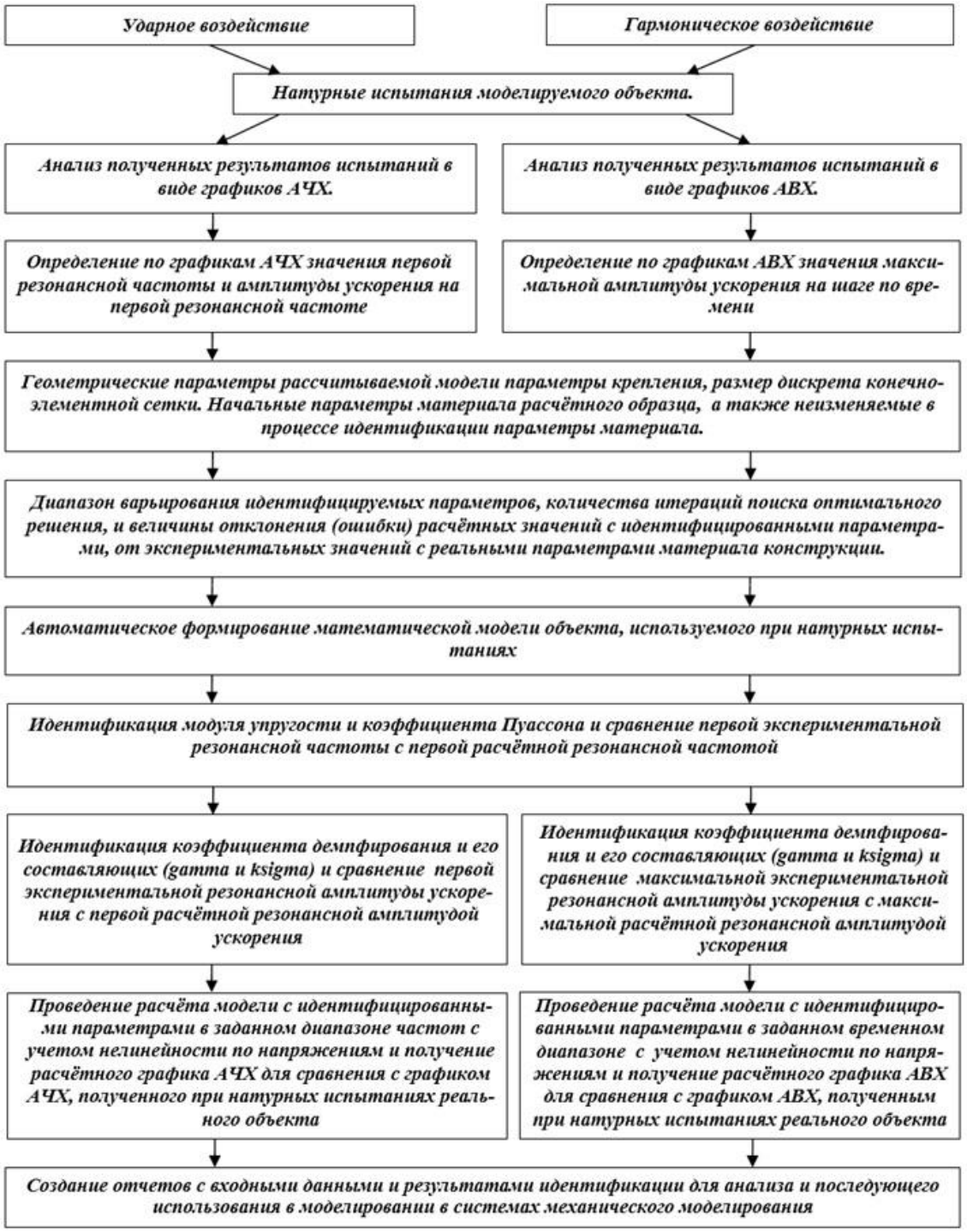


Рисунок 1 - Алгоритм идентификации физико-механических параметров механических свойств конструкции при моделировании

Интерфейс программы позволяет провести идентификацию параметров математических моделей РЭС при механических воздействиях - вибрациях и ударах. В качестве входных данных АСОНИКА-ИД запра-

шивает следующие параметры: геометрические параметры объекта (длина, ширина, толщина, размер дискрета, число и диаметр элементов креплений, отступ от края пластины); начальные параметры материала (модуль упругости, коэффициент Пуассона, КМП, плотность). Если необходимо, задаются дополнительные параметры: экспериментальная резонансная частота, число итераций, ошибка, диапазоны изменений модуля упругости и коэффициента Пуассона. После проведения расчета выдаются результаты [11].

Помимо геометрических характеристик весьма весомую роль при моделировании механических процессов играют физико-механические параметры математических моделей, используемые в расчётах. Одной из серьёзных проблем при современном компьютерном моделировании реальных физических процессов, является процесс идентификации физико-механических параметров рассчитываемой конструкции. При идентифицированных параметрах, учитывая, что геометрически расчётная модель максимально схожа с реальной конструкцией, удаётся добиться совпадения расчётных амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) конструкции с экспериментальными [8].

Отметим, что во многих приложениях отсутствует механизм идентификации физико-механических параметров и учёта нелинейности физико-механических свойств, при возникающих в конструкции напряжениях, в тоже время процесс идентификации параметров математических моделей позволяет [12]:

- провести экспериментальные исследования конструкции однократно и далее, проведя процесс идентификации физико-механических параметров конструкции работать уже непосредственно с электронной моделью изделия;
- как следствие из вышесказанного - сокращение сроков производства, увеличение надежности продукции, снижение влияния человеческого фактора на процесс производства высокотехнологичной, наукоёмкой и дорогостоящей продукции;
- путем проведения научных исследований накапливать электронные модели изделий с параметрами расчётных моделей наиболее близкими к параметрам реальных конструкций, что при современных условиях производства является наиболее важным;
- существенно снизить стоимость готовой продукции, максимально используя компьютерное моделирование конструкции с идентифицированными параметрами на ранних этапах проектирования, учитывая, что процедура натурных испытаний является крайне дорогостоящей и длительной во времени.

В процессе проектирования радиоэлектронных устройств (РЭУ) следует комплексно учитывать состав изделия (его принципиальную схему), влияние технологии изготовления, окружающей среды, а также человеческого фактора, которой в немалой мере влияет на совокупные характеристики проектируемого изделия. Если представить изделие на трех уровнях, как совокупность его макроструктуры, мезоструктуры и микроструктуры, то становится очевидной необходимость иерархического подхода к синтезу моделей систем, обеспечивающих на выходе требуемые эксплуатационные свойства и заданные параметры структуры изделия (см. рис.2).

Анализ рис. 2 показывает, что проблема межмодельного взаимодействия гораздо шире, чем казалось вначале. Правильный переход из одного иерархического уровня создания модели устройства в другой (и обратно) во многом определяет адекватность всей совокупности моделей, и тем самым позволяет сократить издержки производства сложных технических систем.

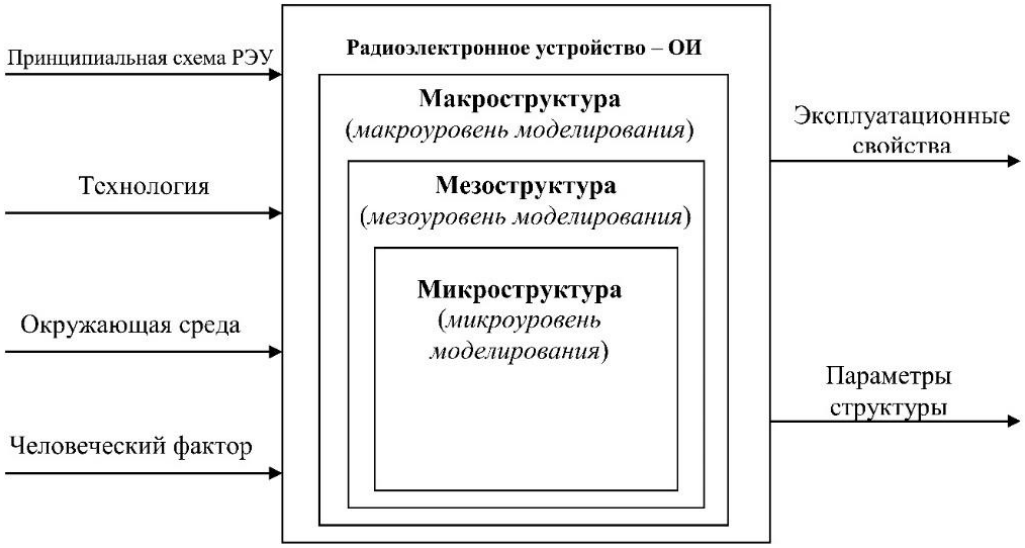


Рисунок 2 - Схема радиоэлектронного устройства как объекта исследования

Радиоэлектронные средства со стороны окружающей среды находятся под воздействием целого ряда факторов, часть из которых (контролируемые воздействия) могут быть измерены, а часть (неконтролируемые воздействия) – не поддаются измерению и/или их влияние несущественно. В результате моделирования устанавливается взаимосвязь выходных параметров объекта $\overline{Y}(t) = [y_1(t), y_2(t), \ldots, y_k(t)]^T$, характеризующих свойства объекта исследования (ОИ), управляющих воздействий $\overline{U}(t) = [u_1(t), u_2(t), \ldots, u_p(t)]^T$, поступающих со стороны субъекта и возмущений $\overline{Z}(t)$ (рис. 3).

Принимаем подход, основанный на представлении объекта в виде кибернетической системы, определяемой множеством входных воздействий $\overline{X}(t) = \{\overline{U}(t), \overline{Z}(t)\} = [x_1(t), x_2(t), \ldots, x_k(t)]^T$, среди которых есть контролируемые $\overline{X}^*$ и неконтролируемые $\overline{E}$, а также множеством характеристик и ограничений $\overline{Q}$, действующих в системе и накладываемых на $\overline{X}^*$ и $\overline{E}$, $A = \{\overline{X}^*, \overline{E}, \overline{Q}\}$. Математическая модель кибернетической системы устанавливает отображение F заданных множеств на множество выходных координат объекта $\overline{Y}(t) = [y_1(t), y_2(t), \ldots, y_k(t)]^T$, $F := \{\overline{X}^*, \overline{E}, \overline{Q}\} \to \overline{Y}$, то есть $A = \{\overline{X}^*, \overline{E}, \overline{Q}\}$. Механизм идентификации модели можно представить как процесс повышения ранга R модели $M(R)$, как процесс сокращения неопределённости модели посредством выбора из множества моделей $M = M(v) = \{M(v+1)\}|_{v=\overline{0,3}}$ требуемой, за счёт привлечения дополнительной информации об объекте. Классификация объектов по степени предварительной изученности и представление механизма построения модели в виде вложенной структуры позволяет определить требования к методам

автоматизированного построения моделей (см. рис. 3) [13].

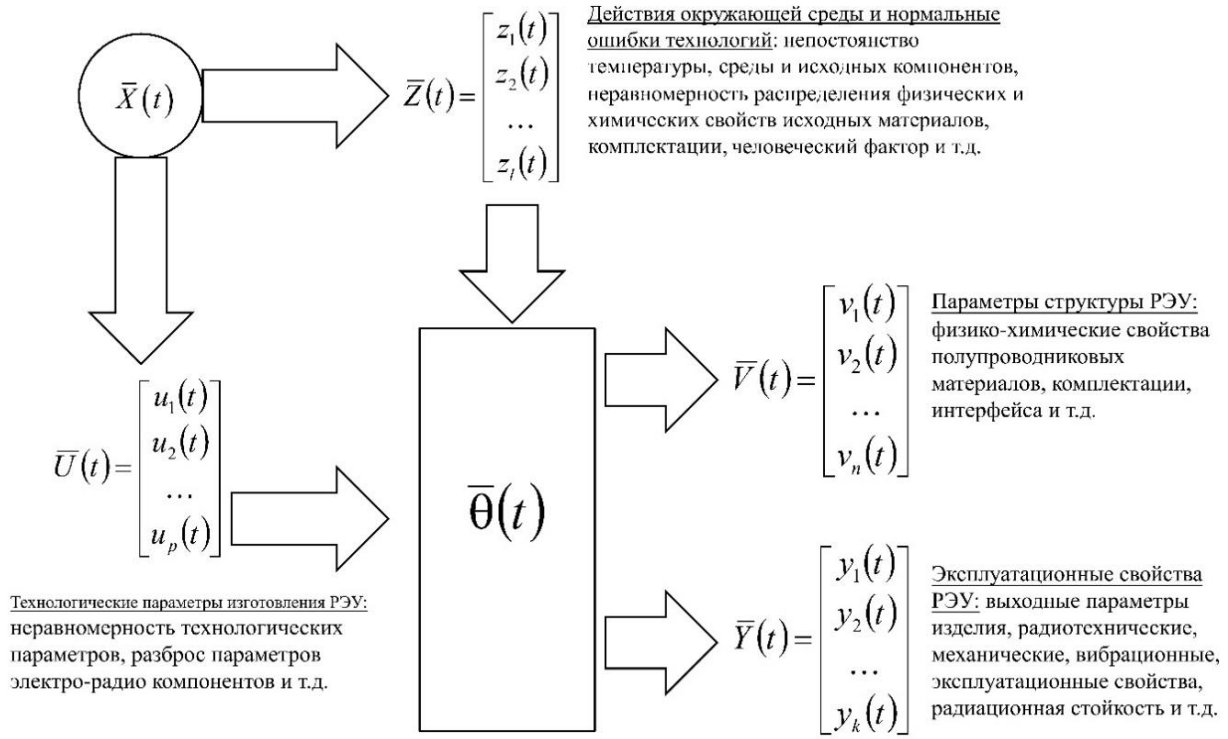


Рисунок 3 - Структурная схема объекта управления – радиоэлектронного устройства (РЭУ)

При моделировании радиоэлектронных устройств математические модели предполагается создавать для решения следующих задач: управление структурой устройства; прогноз получения заданных эксплуатационных свойств; выявление механизма явлений, протекающих в системе [9].

Для решения задачи систематизации и обобщения теории и практики моделирования радиоэлектронных систем предлагается система компьютерно-имитационного моделирования РЭУ (рис. 4), включающая в себя методологические принципы моделирования различных структур РЭУ, методики проведения численного и натурного экспериментов, методы моделирования макроструктуры РЭУ с учётом моделирования микроструктуры, а также алгоритмы и комплексы программ, обеспечивающие получение эффективной технологии синтеза структур радиоэлектронных систем с заданными свойствами и параметрами структуры. В качестве основы построения системы компьютерного моделирования электронных систем предлагается принять следующие методологические принципы.

1. Стратифицированного моделирования макроструктуры РЭУ на основе моделирования микроструктуры.

2. Моделирования нелинейных объектов РЭУ на основе многоуровневых нелинейных преобразований координат.

3. Многофакторного моделирования РЭУ на базе однофакторных моделей.

Рисунок 4 - Структура методологии математического моделирования РЭУ

Предложенные принципы образуют единую целостную систему моделирования радиоэлектронных устройств специального назначения [14]. В соответствии с первым принципом РЭУ рассматривается

на нескольких уровнях абстрагирования реальных процессов структурообразования, что позволяет проводить эффективное математическое моделирование и хорошо отражает объективные закономерности структурообразования и формирования свойств радиокомпонентов. Второй принцип дополняет методологию моделирования РЭУ в части моделирования нелинейных объектов при помощи многоуровневых нелинейных преобразований координат. Указанный принцип позволяет проводить обоснованный выбор функциональных зависимостей, описывающих процессы структурообразования и набора эксплуатационных свойств полупроводниковых материалов, и преобразовывать их к виду, в котором в дальнейшем будем использовать их для получения многофакторных моделей описания образования макроструктуры радиоэлемента и построения функционала качества. Третий принцип многофакторного моделирования на базе однофакторных моделей позволяет сократить количество необходимых исследований, повысить точность математических моделей (ММ), а также даёт возможность использовать при построении многофакторных ММ уже накопленный однофакторный экспериментально-статистический материал [15]. На основе рассмотренных принципов предлагается комплексный метод математического моделирования, суть которого состоит в структурной идентификации моделей во внутренней области факторного пространства состояний математическими моделями, на основе которых синтезируются многофакторные модели, экстраполируемые в область предельных значений дробно-рациональными функциями из «пучка» функций. Совокупность разработанных компонент обеспечивает отыскание функциональных зависимостей во внутренней области факторного пространства в преобразованных координатах и параметрическую идентификацию моделей на краях факторного пространства.

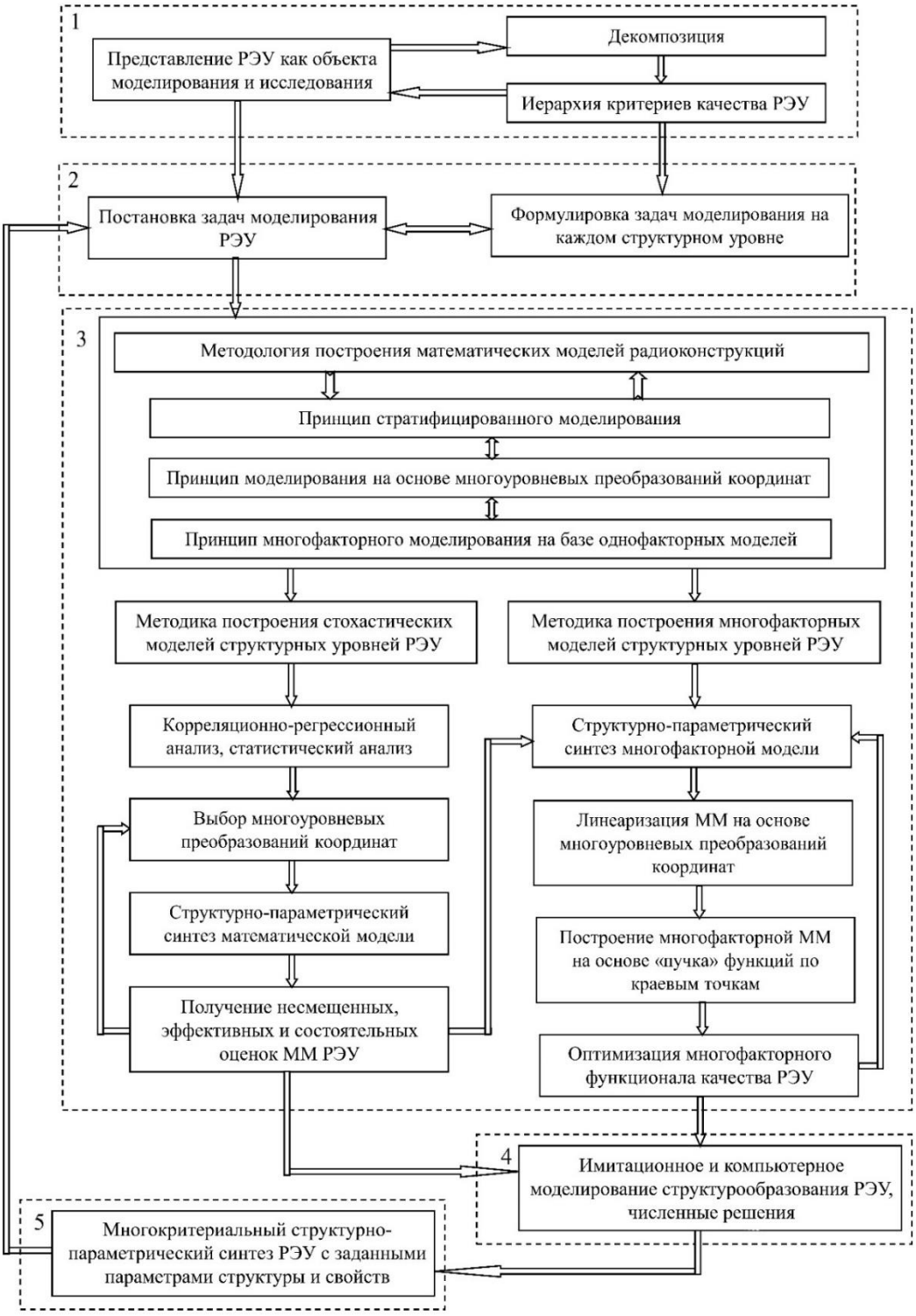


Рисунок 5 - Обобщённая схема построения математических моделей РЭУ

Проводя подробный анализ схемы создания математических моделей РЭУ следует обратить особое внимание на возможные сложности преобразования моделей с одних уровней иерархии на другие, учесть погрешности преобразований, оценить совокупный эффект подобного преобразования, подобрать модели по степени их адекватности, но с учетом итерационного процесса, а именно, начиная с наиболее простых и доступных моделей. Создание на предложенной основе совокупной системы имитационного моделирования ответственных РЭУ позволит в многой степени сократить производственные издержки на проектирование, отработку, испытания и сборку-монтаж подобных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юрков, Н.К. Модели и алгоритмы управления интегрированными производственными комплексами (Монография)/Н.К. Юрков//Пенза, ИИЦ Пенз. гос. ун-та, 2003, - 198 с.

2. ГОСТ 27103-83. Надежность в технике. Критерии отказов и предельных состояний. Основные положения. М.: Государственный комитет СССР по стандартам. – 7 с.

3. Соловьев Д.Б. Повышение точности моделирования механических процессов в радиоэлектронных средствах на основе разработки автоматизированной подсистемы САПР//Автореферат диссертации кандидата технических наук Москва. 2013. - 17 с.

4. Додонов, А.Г. Введение в теорию живучести вычислительных систем/ А.Г. Додонов, М.Г. Кузнецова, Е.С. Горбачик // Киев: Наук. думка, 1990. — 184 с.

5. Савельева, О.С. Критерии отказоустойчивости технических систем/О.С. Савельева// Труды Одесского политехнического университета, 2008, вып. 1(29). – С. 12-15.

6. Юрков, Н.К. Методы и средства проектирования высоконадежных электронных средств (монография)/Н.К. Юрков, А.В. Затылкин, И.И. Кочегаров// 2014, Изд-во ПГУ, Пенза, 274 с. ISBN 978-5-94170-954-0.

7. Исследование динамики печатных плат радиоэлектронных средств (монография)/Г.В.Таньков, В.А.Трусов, А.В.Григорьев, Е.А.Данилова, Н.К.Юрков//Пенза: Изд-во ПГУ. – 2016. - 118 с.

8. Жаднов, В.В. Особенности конструирования бортовой космической аппаратуры. Учебное пособие. Гриф УМО/В.В. Жаднов, Н.К. Юрков// Пенза: Изд-во ПГУ, 2012, - 112 с.

9. Кочегаров, И.И. Межсистемное взаимодействие систем CAD и CAE при моделировании (статья) / И.И.Кочегаров, В.Б.Алмаметов, Н.К.Юрков// XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. – С. 161-166.

10. Тюрина, Л.А. Системная организация жизненного цикла промышленных изделий/ Л.А.Тюрина, Н.К.Юрков//Тяжелое машиностроение. – 2006. – №6. – С. 8-12.

11. Юрков, Н.К. Функционально-целевой подход к синтезу систем управления интегрированными производственными комплексами (статья)/Н.К. Юрков// Измерительная техника, М.: 1999, N 7, с. 19-22.

12. Yurkov, N.K. Synthesis of a Conceptual Model of a Subject Domain. Characteristic Features of Modeling Complex Systems Measurement Techniques. N.Y., Springer, Vol. 46, No. 2, February 2004. P. 128-133.

13. Yurkov, N.K. Characteristic Features of the Control of Complex Systems Utilizing Conceptual Models Measurement Techniques. N.Y., Springer, Vol. 47, No. 4, April 2004. P. 339-342.

14. Основы теории надежности электронных средств. Учебное пособие/А.В. Затылкин, С.Н. Полесский, И.А. Иванов, А.В. Лысенко, Н.К. Юрков//Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. - 180 с.

15. Методы обнаружения и локализации латентных технологических дефектов бортовой радиоэлектронной аппаратуры (Монография) /В.Б. Алмаметов, А.В. Затылкин, А.В. Григорьев, И.И. Кочегаров, Н.К. Юрков//Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. - 184 с

УДК 621.3.049.77, 621.3.049.76

Алмаметов[1] В.Б., Марченко[1] В.В., Кузина[2] А.В., Суряев[1] Е.С., Тюрина[1] Л.А.

[1]ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

[2]Ланчьжоуский Технологический университет, Ланчьжоу, Китай

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

В статье описаны основные проблемы, возникающие при проектировании и производстве микроэлектронных изделий. Выделены такие проблемы как, проблема межсоединений, проблема теплоотвода, проблема уменьшения размеров элементов интегральных схем и увеличение площади обрабатываемых подложек, проблема дефектов подложки и проблема контроля параметров. Отмечается, что на пути решения каждой из вышеперечисленных проблем предложены решения и достигнуты определенные успехи.

Ключевые слова:

ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, МИКРОЭЛЕКТРОНИКА , ИНТЕГРАЦИЯ, ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА

В начале XXI века одной из основных тенденций развития электроники стало направление, получившее название «окружающий разум», обозначающее окружающую среду, насыщенную электронными устройствами, которые реагируют на присутствие людей. В русскоязычных источниках термин «окружающий интеллект» упоминается, но пока не является устоявшимся эквивалентом английского *Ambient intelligence*.

Важнейшими направлениями научно-технического прогресса на сегодняшний день являются освоение передовых технологий, включая автоматизацию и механизацию производства. Современный этап решения задач в рамках этих направлений опирается на революцию в электронно-вычислительной технике. Для того чтобы обеспечить глубокие качественные изменения в производительных силах, создание принципиально новых видов продукции, техники и технологии, необходимо интенсивное развитие и расширение исследований в области естественных и технических наук, включая физику твердого тела, микро- и квантовую электронику и оптику, радиофизику и радиоэлектронику, от уровня развития которых зависит общий индустриальный и научный потенциал общества, включая достижения в автоматизации производства, освоении космоса, вычислительной технике, медицине, искусстве, телевидении и т.д.

Становление и развитие физики твердого тела позволило сформулировать условия использования свободных электронов и квазичастиц в твердом теле для создания твердотельных электронных приборов. На основе твердотельной электроники сформировались полупроводниковая электроника и микроэлектроника.

Микроэлектроника — это подраздел электроники, связанный с изучением и производством электронных компонентов с геометрическими размерами характерных элементов порядка нескольких микрометров и меньше [1].

Такие устройства обычно производят из полупроводников и полупроводниковых соединений, используя фотолитографию и легирование. Большинство компонентов обычной электроники: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, диоды, транзисторы, изоляторы и проводник — также применяются и в микроэлектронике, но уже в виде миниатюрных устройств в интегральном исполнении [2].

На сегодняшний день основной тенденцией развития микроэлектроники является повышение степени интеграции микросхем, однако стоит отметить основные проблемы, которые возникают при проектировании и производстве микроэлектронных изделий [3].

Проблема межсоединений. Огромное число элементов микросхемы, размещенных на подложке, должно быть коммутировано между собой таким образом, чтобы обеспечить надежное и правильное выполнение определенных операций над сигналами.

Достигается это с помощью многоуровневой разводки, когда на первом уровне формируют логические вентили, на втором отдельные цифровые узлы типа триггеров, на третьем - отдельные блоки и далее по нарастающей степени функциональной сложности. Среди примеров следует отметить 3D-корпусирование - метод корпусирования кристаллов микросхем и других изделий микротехнологий, при котором кристаллы монтируются друг на друга с электрической разводкой вне плоскости кристаллов. Метод позволяет увеличить степень интеграции, т. е. при одинаковой площади изделия существенно увеличить его производительность за счёт использования нескольких кристаллов, смонтированных друг на друга.

Проблема теплоотвода. Уменьшение размера элементов и расстояния между ними ведет к увеличению удельной мощности, рассеиваемой единицей по-верхности подложки. Практически величина этой мощности не превышает 5 Вт/см^2, Эта проблема решается применением микрорежимов работы логических элементов. При этом предпочтительнее схемы комплементарная структура «металл диэлектрик полупроводник» и интегрально-инжекционная логика (ИИЛ), потребляющие мощность менее 0,1 мВт на логический элемент.

В естественном режиме (без дополнительного теплоотвода) допустимая мощность рассеивания современных микросхем не превышает 0,05 Вт/ мм 2, что ограничивает плотность размещения элементов на подложке. Для преодоления этого ограничения можно использовать несколько способов: снижение напряжения питания, использование микрорежима работы транзисторов, переход к более экономичной элементной базе (например, комплементарная структура металл-диэлектрик-полупроводник-КМДП), а также искусственное охлаждение. Однако у каждого из этих способов существуют свои специфические трудности. Так, к примеру, снижение напряжения питания неизбежно ведет к снижению помехоустойчивости.

Проблема уменьшения размеров элементов интегральных схем и увеличение площади обрабатываемых подложек. Известно, что размеры элементов определяются литографией. Разрешающая способность фотолитографии ограничена длиной волны света (около 1 мкм). Современная субмикронная литография использует излучения со значительно меньшей длиной волны (электронные, ионные и рентгеновские лучи), позволяющие получить размер элементов менее 1 мкм (до 0,1 мкм) [4]. Intel выпускает линейку процессоров Core 2 Quad "S" (45-нм процесс), которые обеспечивают производительность на уровне стандартных моделей, но остаются в пределах теплового пакета 65 Вт вместо 95 Вт. В качестве примера можно отметить также, оборудование для проекционной литографии (Electron Projection Lithography -EPL) с использованием норм 0,07-микронного технологического процесса корпорацией Nikon. Сегодня EPL можно рассматривать как наиболее вероятную технологию литографии следующего поколения.

Проблема дефектов подложки. Повысить степень интеграции можно простым увеличением площади кристалла, однако получение бездефектных кристаллов больших размеров – весьма сложная технологическая задача. Наличие же дефектов резко снижает процент выхода годных и увеличивает стоимость интегральной схемы.

Разработчики интегральных схем ищут способы преодоления технологических и физических барьеров на пути повышения степени интеграции. Разрабатываются вертикальные структуры, открывающие определенные перспективы трехмерной интеграции. Проводятся работы по компоновке на одной пластине десятков микропроцессорных больших интегральных схем запоминающих устройств. Разрабатываются ультрабольшие и гигантские интегральные схемы.

Проблема контроля параметров. В подавляющем большинстве случаев характеристики компонентов и условия их правильной эксплуатации в полной мере учитываются разработчиками, а изготовители компонентов обеспечивают соответствие реальных характеристик указанным в справочниках. Однако и отечественные, и зарубежные производители электронной техники всё чаще сталкиваются с контрафактными компонентами. В связи с этим проблемы надежности и качества оборудования и контроля параметров производимой электронной промышленностью продукции приобретают наиважнейшее значение.

Визуальная проверка играет важную роль в снижении риска приобретения поддельных или некачественных комплектующих. Проверка внешнего вида и массо-габаритный контроль позволяют устранить до 80% брака. Стоит отметить, что использование предупреждений и отчетов, выпущенными правительством, также может минимизировать риски, связанные с контрафактными комплектующими. Правительственная программа отраслевого обмена данными GIDEP (Government Industry Data Exchange Program) периодически публикует сообщения о появлении новых подделок на рынке.

В настоящее время на пути решения каждой из вышеперечисленных проблем достигнуты определенные успехи. В качестве характерного примера таких решений можно привести применение в современных сверхбольших интегральных схемах функционально-интегрированных элементов, которые в одной полупроводниковой области совмещают функции нескольких простейших элементов. Примером может служить структура И^{2}Л (интегрально-инжекционной логики), в которой совмещены база горизонтального транзистора типа p-n-p с эмиттером вертикального транзистора типа n-p-n, а коллектор транзистора p-n-p одновременно является базой транзистора n-p-n (см. рисунок 1). Широко применяется совмещение коллекторной нагрузки с коллектором и ряд других конструктивных решений, позволяющих сократить количество боксов, в которых размещаются элементы ИС, и тем самым повысить степень интеграции. Для получения субмикронных размеров некоторых областей при разрешающей способности фотолитографии около 1 мкм в СБИС широко используют метод самосовмещения, в основе которого лежит использование ранее созданных слоев в качестве масок для получения последующих элементов [5].

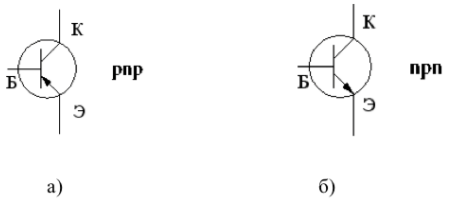


Рисунок 1. Обозначение биполярных транзисторов на схемах:
а – транзистор pnp - типа ;
б – транзистор npn – типа

Возможности микроэлектроники далеко не исчерпаны, а предрекаемый предел ее развития как научной и технологической дисциплины постоянно отодвигается во времени. Ни одна отрасль не изменила мир так значительно, как микроэлектроника, благодаря ее развитию возникли технологии, давшие жизнь роботам, искусственному интеллекту и интернету вещей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агринская, Н.В. Молекулярная электроника /Н.В. Агринская. -СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2004. – 110 с.
2. Словарь русского языка: В 4-х т. / РАН, Интлингвистич. исследований; Под ред. А. П. Евгеньевой. — 4-е изд., стер. — М.: Рус. яз.; Полиграфресурсы, 1999.Т. 1. А—Й. — 702 с.
3. Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность. - М.: Высшая школа, 2006. - 464 с.
4. Плотников, Г. С. Физические основы молекулярной электроники / Г. С. Плотникова, В.Б. Зайцев. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 164 с.
5. Петти, М. Молекулярная электроника : пер. с англ. / М. Петти. – М. : Интеллект, 2008. – 898 с.

УДК 519.718.2

Юрков Н.К., Кочегаров И.И., Трусов В.А.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ НАДЕЖНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Введение.

Современная РЭС, без сомнения, является сложной структурированной системой. На многих НИИ, КБ, предприятиях накопился огромный опыт проектирования, испытаний и эксплуатации РЭС при различных условиях, от лабораторных до экстремальных. Этот опыт позволил выявить «механизмы» типичных отказов. На основе анализа этих механизмов, для обеспечения требуемой надежности изделий в соответствующих условиях эксплуатации, осуществляется выбор отработанных конструктивных и технологических решений или разработка новых. При проектировании современной РЭС постоянно приходится решать противоречие между сложностью и надежностью.

Обеспечение надежности РЭС при ее проектировании все больше связывают с «Надежностно-ориентированным проектированием» электронной аппаратуры, с учетом физических моделей деградации, типичных механизмов отказов соединений и изоляции, и с учетом критериев оценки качества технологического контроля.

Теории разработки «Надежностно-ориентированного проектирования» и «Надежностно-ориентированных моделей» посвящены ряд работ современных ученых [1-4]. Общей целью этих работ является разработка теоретического подхода к созданию «Единой Надежностно-Ориентированной Модели» (ЕНОМ).

Рассмотрению одного из возможных подходов к созданию ЕНОМ посвящена эта работа.

Основная часть.

Сложную структуру радиоэлектронных средств (РЭС) будем характеризовать некоторыми выходными параметрами (параметрами функционирования) $X_1, X_2, \dots X_n$, которые определяют его состояние и являются случайными функциями времени $X(t)$.

Область работоспособности изделия можно рассматривать, как такое множество G состояний, определяемых значениями параметров X_i, при котором отказа не происходит.

Принадлежность данного состояния $X(t)$ множеству G, т. е. $X(t) \in G$ будет означать, что изделие работоспособно.

Если состояние изделия характеризуется несколькими выходными параметрами и будет происходить процесс изменения всех n параметров, то множество G будет связано с n-мерным, так называемым, фазовым пространством. Процесс эксплуатации РЭС, при котором может происходить потеря работоспособности, будем представлять в виде траектории случайной функции $X(t)$ в n -мерном фазовом пространстве.

Рассмотрим область работоспособности изделия G в представлениях n-мерного фазового пространства (рисунок 1). Границы области G зависят от требований к изделию. Более высокие требования к его выходным параметрам сужают область работоспособности,

Для одного и того же изделия в зависимости от характера выполняемой работы могут предъявляться различные требования к точности его функционирования. На рисунке 1 в рамках области работоспособности G показаны две области работоспособности изделия G_1 — для обычных и G_2— для более жестких технических условий на параметры изделия.

При решении задач надежности, большее значение имеет выявление той части области работоспособности $G_{1\gamma}$, в которую реализации процесса попадают с заданной вероятностью γ. Границы этой области на рисунке 1 очерчены реализациями X_γ и X'_γ (верхняя и нижняя границы). Например, если γ = 0,99, то это означает, что с данной вероятностью все реализации попадают в область G_v и с вероятностью всего в 0,01 они могут проходить через другую часть области G. Такое выделение области G_γ целесообразно для оценки показателей надежности при заданной вероятности безотказной работы.

При разработке и изготовлении конкретного изделия ему придают ряд свойств, способствующих противостоянию действующим на него нагрузкам. Благодаря приданным ему свойствам объект способен воспринимать и выдерживать нагрузки, трансформировать их и передавать другим объектам. В совокупности свойства воспринимать и перерабатывать внешние воздействия и определяют качество объекта, а также и безопасность его использования.

Способность объекта воспринимать нагрузки формируется физико-механическими свойствами материалов и техническими свойствами, определяемыми его конструктивными особенностями. Например, к первым относятся прочность и упругость, пластичность и жаростойкость, электрическая проводимость и т.п.; ко вторым — герметичность, устойчивость, взаимная подвижность элементов и другие свойства, зависящие от конструктивных особенностей объекта.

Каждому из этих свойств соответствуют определенные значения параметров и требования, вытекающие из условий целевого применения объекта. Несоответствие хотя бы одного из них установленным требованиям свидетельствует о наличии дефекта, следствием которого является выход значений параметров за определенные пределы. Поэтому при эксплуатации объекта по результатам измерений чаще необходимо оценить не столько положение точки в пространстве состояний, сколько функциональную пригодность объекта или принадлежность его к тому или иному классу.

Состояние объекта измерения определяется набором значений параметров наблюдения x, характеризующих его. Они являются координатами точки в пространстве состояния в рассматриваемый момент времени. С течением времени или под воздействием среды значения параметров и, следовательно, его состояние изменяются. Множество состояний, отражающих функциональную пригодность объекта измерения, образует область работоспособности в пространстве состояний. Выход за пределы области работоспособности приводит к отказу оборудования, снижающему безопасность РЭС.

Рисунок 1 Области работоспособности и состояний РЭС

В общем случае объект подвержен воздействию некоторого множества различных по физической природе нагрузок. Количественная характеристика нагрузки, действующей на объект, называется режимом нагружения. Нагрузка характеризуется точкой в m-мерном пространстве параметров, ее координаты являются характеристиками режима нагружения. Они могут быть представлены -мерным вектором

$$U_{<m>} = < u_1, u_2, \dots, u_r, \dots, u_m >, \qquad (1)$$

где u_i —управляющее воздействие.

Таким образом, изменения состояния объекта любой природы характеризуются случайным многомерным вектором нагрузок.

В качестве характеристики сопротивляемости объекта можно принять область работоспособности — область предельных значений нагрузки $\{\widehat{U}\}$. При попадании вектора нагрузки в область работоспособности отказа не наступает. Эта характеристика практически дает исчерпывающую информацию относительно способности объекта воспринимать и известным способом преобразовывать действующую на него нагрузку. На основе этой информации могут быть сформулированы условия (критерии) безотказной работы в следующей форме

$$U_{<m>} \in \{U^{\text{пр}}_{<m>}\}. \qquad (2)$$

Условие представляет собой многократно проверенное опытом высказывание следующего содержания: если случайный вектор, характеризующий действующую на объект нагрузку, принадлежит области допустимых значений нагрузки, то отказа не наступает. На практике редко встречаются случаи, когда границы области работоспособности установлены однозначно. Прежде всего, это связано с множеством случайных факторов, действующих на объект и приводящих к износу узлов и деталей и старению изделия. С учетом этого условие безотказной работы принимает вид

$$\widehat{U}_{<m>} \in \{\widehat{U}^{\text{пр}}_{<m>}\}. \qquad (3)$$

В общем случае представление объекта в форме многомерной случайной области работоспособности — довольно сложная задача.

Проведенные научные изыскания по моделированию сложных систем на базе информационных технологий позволили обосновать схему синтеза проектных решений, а анализ систем моделирования этапов жизненного цикла изделия – создать систему межмодельного взаимодействия, обеспечивающую повышение эффективности функционирования систем проектирования за счет включения интеллектуального интерфейса. Это позволяет создать единую систему моделирования, объединяющую разнородные модели, созданные в разное время разными коллективами на основе разнообразных принципов и математических подходов.

Методы моделирования, основанные на физике отказов, не позволяют прогнозировать параметры объекта в режиме реального времени с требуемой точностью, поскольку в процессе эксплуатации на объекты действует множество случайных факторов, учет которых в модели для практического использования крайне затруднителен.

При численном моделировании также при построении моделей мы имеем дело с идеализированными моделями объектов. Это касается и свойств материалов, накладываемых граничных и начальных условий.

В настоящее время используются на практике программные комплексы надежностно-ориентированного расчета показателей надежности систем различных видов, классов и назначения [12]:

- программный комплекс для анализа надежности сложных космических систем и летательных аппаратов (Московский авиационный институт);
- программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем «АРБИТР» [13];
- technology maximizes product reliability (CARE), technology minimizes maintenance cost (CAME) [14];
- автоматизированное рабочее место для оценки надежности систем (НИИ "Квант", Россия);
- программный комплекс численного анализа надежности и риска для сложной системы на основе деревьев отказов (Лаборатория надежности ИПМАШ РАН, СПб., Россия)

Заключение.

Для объединения разнородных моделей в единую необходимо использовать базы данных всех разработчиков РЭА, всех разработчиков программных комплексов автоматизированного моделирования и расчета показателей надежности систем различных видов, классов и назначения на основе единой информационной среды (ИС).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кофанов, Ю.Н. Моделирование и обеспечение надёжности технических систем. М.:Энергоатомиздат, 2011
2. Жаднов, В.В. Разработка методов и средств для проектных исследований надёжности радиоэлектронной аппаратуры. М.: МИЭМ, 2010.
3. Жаднов, В.В. Технология надёжностно-ориентированного проектирования. /В.В.Жаднов// Электронные компоненты. 2002. №8. С.39-42.
4. Каштанов В. А., Медведев А. И. Теория надежности сложных систем М.:Физматлит. 2010.
5. Юрков, Н.К. Синтез концептуальной модели предметной области. Особенности моделирования сложных систем/Н.К.Юрков//Измерительная техника. 2004. № 2. С. 11-14.
6. Юрков, Н.К. Модели и алгоритмы управления интегрированными производственными /Н.К.Юрков//Пенза, ИИЦ Пенз. гос. ун-та, 2003, 198 с.
7. Yurkov N.K. Synthesis of a conceptual model of a subject domain. Characteristic features of modeling complex systems Measurement Techniques. 2004. Т. 47. № 2. С. 128-133.
8. Юрков, Н.К. Особенности управления сложными системами на основе концептуальных моделей/Н.К.Юрков//Измерительная техника. 2004. № 4. С. 14-16.
9. Management of structural components complex electronic systems on the basis of adaptive model / Grishko, A., Goryachev, N., Kochegarov, I., Brostilov, S., Yurkov, N. // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings of the 13th International Conference on TCSET 2016. DOI:10.1109/TCSET.2016.7452017
10. Dynamic analysis and optimization of parameter control of radio systems in conditions of interference / Grishko, A.K., Goryachev, N.V., Kochegarov, I.I., Yurkov, N.K. // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 – Proceedings.DOI:10.1109/SIBCON.2016.7491674
11. The method of obtaining the thermal model of the printing circuit assembly / Kochegarov, I.I., Tynda, A., Goryachev, N. // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016. DOI:10.1109/SCM.2016.7519722
12. Максимов Я.А. Технология автоматизированного моделирования надежности информационных систем
13. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем (ПК АСМ СЗМА, базовая версия 1.0) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.szma.ru/pkasm.shtml
14. BQR Reliability Ingineering Ltd. [Electronic resource]. –http://www.bqr.com/content/view/15/87/lang,en/

УДК 004.89, 338.24

Маслобоев А.В.

Институт информатики и математического моделирования Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия

ФОРМИРОВАНИЕ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ СЕТИ ВИРТУАЛЬНЫХ КОГНИТИВНЫХ ЦЕНТРОВ

Для повышения ситуационной осведомленности в сетецентрической системе управления региональной безопасностью в работе предлагается расширение системы распределенных ситуационных центров за счет формирования сети виртуальных когнитивных центров как интеллектуальных систем информационной поддержки управления региональным развитием и безопасностью критически важных объектов. Рассматриваются возможности создания и перспективы использования виртуальных когнитивных центров для задач государственного и регионального управления в условиях перехода к цифровой экономике, их роль в системе распределенных ситуационных центров. Обсуждаются история развития, нормативная база и вопросы организации функционирования ситуационных центров в России. Обосновывается необходимость совершенствования системы распределенных ситуационных центров. Дана общая характеристика созданного прототипа виртуального когнитивного центра управления региональной безопасностью, реализованного в виде гибридного облачного сервиса на базе IaaS-архитектуры с применением технологий автономных программных агентов и веб-сервисов.

Ключевые слова:

СИТУАЦИОННАЯ ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ, УПРАВЛЕНИЕ, РЕГИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ВИРТУАЛЬНЫЙ КОГНИТИВНЫЙ ЦЕНТР, ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МНОГОАГЕНТНАЯ СИСТЕМА, ВЕБ-СЕРВИС

Введение

В настоящее время цифровизация государственного и регионального управления является общемировой тенденцией. Однако потенциал цифровых технологий в управлении социально-экономическими системами значительно шире и может охватывать все этапы управления - от сбора данных, мониторинга и анализа слабоструктурированной информации до прогнозирования различных вариантов развития ситуаций, непрерывного форсайта и формирования рекомендаций для принятия решений в процессе оперативного, тактического и стратегического планирования и управления. Эффективным инструментом ситуационного управления сегодня являются ситуационные центры (СЦ), способные в реальном масштабе времени обрабатывать огромные потоки разноплановой информации о влиянии различных угроз на состояние социально-экономических систем, вследствие чего потребности в СЦ возрастают с каждым днем [1]. Система распределенных СЦ позволяет создать условия для обеспечения целенаправленности процессов управления и координации принятия решений в многоуровневой распределенной управленческой среде при высоком уровне рисков и неопределенности причин возникающих кризисных событий. Создание таких условий на основе внедрения цифровых технологий во все сферы государственного управления посредством СЦ крайне необходимо для повышения эффективности современной системы обеспечения национальной и региональной безопасности, а также для поддержания риск-устойчивого развития экономики нашей страны.

Решение этой задачи затрудняется необходимостью интеграции, обработки и анализа больших объемов семантически и организационно разнородной информации для различных субъектов управления, а также ее представления в виде, обеспечивающем адекватное восприятие и интерпретацию человеком для последующего принятия эффективных управленческих решений. Таким образом, актуальной задачей является разработка новых и развитие существующих методов и средств информационно-аналитического обеспечения региональных СЦ. В рамках данной задачи перспективным направлением исследований является создание моделей и технологий, обеспечивающих формирование и расширение сетецентрической информационной инфраструктуры системы распределенных СЦ для задач цифровой трансформации управления и обеспечения региональной безопасности.

Исторические этапы развития СЦ и современные проблемы

В развитии СЦ в России для задач государственного управления и обеспечения региональной

безопасности можно условно выделить пять основных этапов:

1986-1996 гг. - идея создания СЦ и первый опыт;

1997-2007 гг. - разработка и ввод в эксплуатацию отдельных СЦ, формирование типовых функциональных и информационных элементов СЦ;

2008-2012 гг. - массовое внедрение СЦ в практику работы органов государственной власти;

2013-2017 гг. - создание системы распределенных СЦ, работающих по единым организационным и техническим регламентам;

с 2018 г. по настоящее время – развитие и расширение системы распределенных СЦ за счет разработки и внедрения новых моделей ситуационной осведомленности, а также формирования сети виртуальных когнитивных центров ситуационного управления.

СЦ позволяют реализовать новый формат управления региональной безопасностью, прежде всего, на основе создания особого информационно-технологического пространства для проблемного мониторинга и прогнозирования показателей безопасности региональных социально-экономических систем, а также для координации децентрализованного принятия решений и контроля их исполнения.

Сегодня представления об СЦ, как просто ситуационном зале, отошли на второй план. Приоритеты при создании СЦ смещаются в содержательную область. В условиях дефицита времени на выработку и реализацию управленческих решений, особенно в различных сферах безопасности, генеральной целью системы обеспечения региональной безопасности становится комплексное, эффективное и оптимальное ситуационное управление. Эта цель - одна из ключевых при решении экономических и социальных проблем средствами СЦ федерального и регионального уровней. Для достижения этой цели в нашей стране создается пространственно-распределенная сеть СЦ – принципиально нового класса информационно-управляющих систем, предназначенных для повышения эффективности принятия решений органами государственного управления в социально-экономической и общественно-политической сферах. Эти системы в рамках СЦ должны обеспечивать целеполагание, формализацию функциональных задач, мониторинг, комплексный анализ вероятных сценариев развития чрезвычайных (кризисных) ситуаций, формирование взаимоувязанных баз данных и обобщенных метаданных (базы знаний) и их оперативную аналитическую обработку для организации стратегического планирования и контроля качества реализации антикризисных мероприятий, а также координации сил, средств и ресурсов по обеспечению региональной и национальной безопасности страны.

На рис. 1 представлена обобщенная структура и состав сети СЦ Российской Федерации.

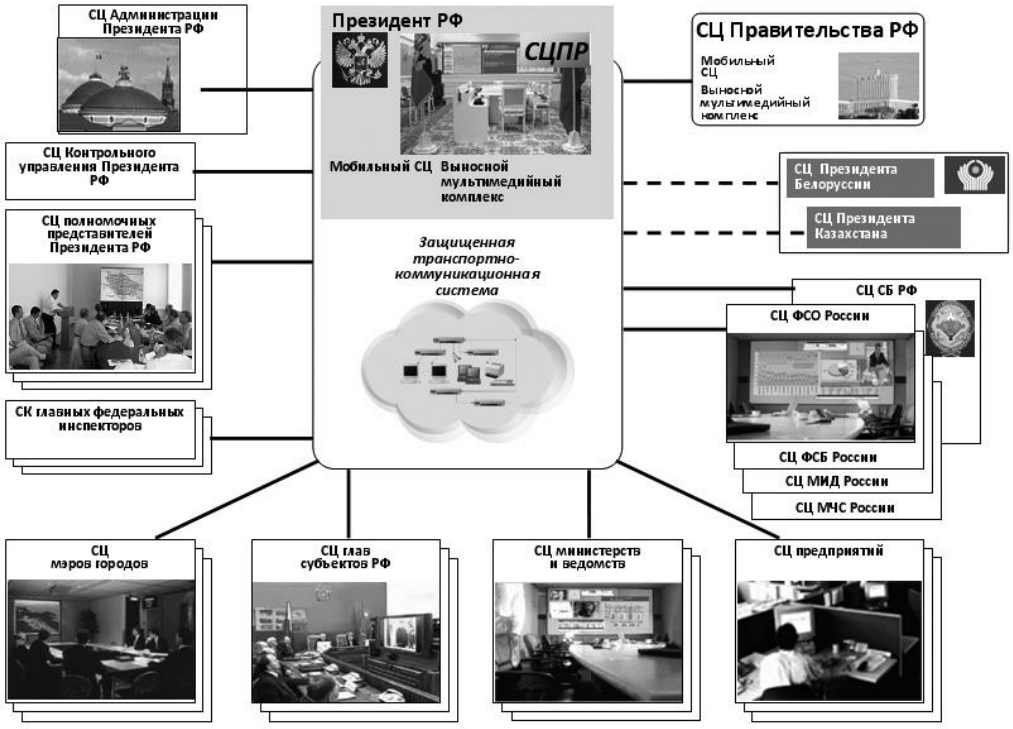


Рисунок 1 - Структура и состав системы распределенных СЦ Российской Федерации

Основными целями создания системы распределенных СЦ являются [2]:

обеспечение информационно-аналитической поддержки государственного и регионального управления, стратегического планирования и мониторинга реализации комплексных планов обеспечения национальной безопасности и риск-устойчивого развития экономики страны;

повышение эффективности государственного и регионального управления в мирное и в военное время, в том числе при возникновении чрезвычайных (кризисных) ситуаций за счет использования информационных и технологических возможностей СЦ, обеспечивающих анализ, оценку, прогнозирование изменения обстановки и поддержку принятия управленческих решений.

Главной задачей сетецентрической системы СЦ является информационная поддержка управления – формирование ситуационной осведомленности и выработка рекомендаций для согласованного принятия управленческих решений на всех уровнях управления. Эта задача пока еще остается открытой как у нас, так и за рубежом, не имеет окончательного решения и, поэтому, требует детальной научной и экспериментальной проработки [3].

Перечислим основные этапы создания системы распределенных СЦ:

I этап (2012 г.) – разработка и утверждение концепции создания системы распределенных СЦ;

II этап (2014 г.) - разработка и утверждение единого регламента взаимодействия и методических рекомендаций по созданию СЦ, ввод в эксплуатацию опытного района системы распределенных СЦ;

III этап (2015 г.) – создание и ввод в эксплуатацию Центра управления и координации системы распределенных СЦ, завершение создания системы и развитие ее функциональных возможностей;

IV этап (2016 г.) – разработка системного проекта на создание системы распределенных СЦ;

До 2020 г. – реализация Плана по модернизации действующих и созданию новых СЦ (поручение Правительства РФ).

Общие функции региональных и федеральных СЦ в составе системы распределенных СЦ:

поддержка управленческой деятельности на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях принятия решений;

разработка и информационно-аналитическое сопровождение реализации эффективных стратегий развития государства и Субъектов РФ, а также системы обеспечения региональной безопасности;

прогнозирование непредвиденных явлений и событий в социально-экономической и общественно-политической сферах на основе комплексного мониторинга, анализа и оценки оперативной обстановки как в стабильных, так и в критических условиях, а также тенденций и закономерностей развития региональных кризисных ситуаций;

многофакторный анализ текущей ситуации по результатам мониторинга;

формирование рекомендаций лицам, принимающим решения, по оперативному реагированию в случае чрезвычайных обстоятельств;

интеграция систем информационной поддержки государственного и регионального управления в единое информационное пространство для повышения эффективности работы системы обеспечения региональной безопасности, построенной на базе СЦ, с точки зрения качества и оперативности формирования и анализа информации для принятия решений.

Основные задачи СЦ управления региональной безопасностью в рамках системы распределенных СЦ:

регулярно проводимый по определенной программе мониторинг и контроль внутренних и внешних угроз региональной безопасности для оценки состояния развития региона, оценки происходящих в нем процессов и своевременного выявления негативных тенденций их изменения;

сценарный анализ и прогнозирование состояния процессов эффективного развития региона и показателей его безопасности в различных измерениях;

программно-целевое планирование на перспективу и постановка задач оптимального распределения ресурсов для достижения поставленных целей безопасного развития региона, формирование соответствующих программ управления и проектов решений;

регулирование процессов реализации программ управления и проектов решений в целях эффективного развития и обеспечения безопасности региона.

В настоящее время информационная поддержка реализации «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» [4] осуществляется при координирующей роли Совета Безопасности РФ за счет привлечения информационных ресурсов заинтересованных органов государственной власти и государственных научных учреждений с использованием системы распределенных СЦ.

Известные модели и подходы к организации функционирования и информационного взаимодействия действующих СЦ имеют ряд слабых сторон:

поддержка принятия решений на основе ретроспективной информации и архивных отчетных материалов;

слабая интероперабельность (совместимость) функциональных и информационных компонентов разнородных СЦ;

отсутствие единых организационных и технических регламентов информационного взаимодействия и обмена данными в системе распределенных СЦ в силу организационной разнородности источников оперативной информации;

централизованная архитектура используемых информационно-аналитических систем;

необходимость автоматизированного выбора и реализации методов и средств анализа и обработки данных в условиях известных источников первичной информации для информационной поддержки принятия решений в кризисных ситуациях;

реализация проблемного мониторинга состояния исследуемой системы в режиме, частично приближенном к реальному времени, что снижает оперативность поддержки принятия решений, например, в случае возникновения чрезвычайных ситуаций;

необходимость ориентации СЦ на различные категории пользователей и экспертов.

Вместе с тем, существуют и другие проблемы использования СЦ, касающиеся отсутствия четкого определения СЦ в системе государственного управления, его организационно-функциональной структуры, методического и информационного обеспечения, а также отсутствия средств координации децентрализованного принятия решений в системе распределенных СЦ.

Нормативная база создания и внедрения СЦ

Основания для проведения работ по разработке СЦ и развитию сетецентрической системы СЦ определяются рядом нормативных документов, принятых на государственном уровне:

Указ Президента РФ «О стратегии национальной безопасности РФ до 2020 г.» от 12 мая 2009 г. №637;

Комплекс мер по исполнению Комплексного плана мероприятий по реализации Стратегии национальной безопасности РФ и Основ стратегического планирования в РФ;

Указ Президента РФ «О формировании системы распределенных СЦ, работающих по единому регламенту взаимодействия» от 25 июля 2013 г. №648;

Концепция создания системы распределенных СЦ, работающих по единому регламенту взаимодействия» от 3 сентября 2013 г. № Пр-2308;

План первоочередных мероприятий, направленных на формирование и обеспечение функционирования системы распределенных СЦ от 5 октября 2013 г. № Пр-2363;

Концепция информационной безопасности системы распределенных СЦ, работающих по единому регламенту взаимодействия (протокол №1 Межведомственная комиссия по координации деятельности федеральных органов исполнительной власти от 5 декабря 2013 г.);

Единый регламент взаимодействия распределенных СЦ (протокол №2 Межведомственная комиссия по координации деятельности федеральных органов исполнительной власти от 7 мая 2015 г.);

Методические рекомендации по созданию и вводу в эксплуатацию СЦ, работающих по единому регламенту взаимодействия (протокол №2 Межведомственная комиссия по координации деятельности федеральных органов исполнительной власти от 7 мая 2015 г.);

О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации (Указ Президента РФ от 31 декабря 2015 г. N 683);

О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года (Указ Президента РФ от 13.05.2017 г. № 208).

Анализ новых направлений развития и расширения потенциала СЦ

Развитием современных технологий построения и организации работы СЦ является методология создания и использования когнитивных центров, как информационных систем для прогнозирования и стратегического планирования развития региональных социально-экономических систем [5]. Прототип системы проектирования будущего на основе использования когнитивных центров реализован в Центре компьютерного моделирования и экспертного анализа Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Когнитивный центр обеспечивает поддержку управления развитием сложных децентрализованных систем, таких как регион, территория, отрасль, предприятие. Основу когнитивного центра составляет метод вычислительного эксперимента [6].

Другим перспективным подходом к информационно-аналитическому обеспечению СЦ и когнитивных центров с точки зрения необходимости интеграции, обработки и анализа больших объемов разноплановой информации о влиянии множественных угроз на состояние региональных систем, является построение распределенной многоуровневой среды управления региональной безопасностью по сетецентрическому принципу [7] на базе формирования сети виртуальных когнитивных центров (ВКЦ). Новый подход основан на реализации моделей неявного

управления развитием региональных социально-экономических систем через создание адаптивной интеллектуальной среды поддержки регионального управления в рамках виртуального пространства региона. ВКЦ представляет собой тренажерно-моделирующий комплекс, предназначенный для интеллектуальной поддержки принятия решений в сфере управления рискоустойчивым развитием региона в чрезвычайных (кризисных) ситуациях. Основными задачами ВКЦ являются: моделирование и прогнозирование, стратегическое планирование развития региональных социально-экономических систем, синтез спецификаций взаимодействия и моделей координации субъектов управления для решения управленческих задач в различных предметных областях, в том числе и в сфере региональной безопасности. ВКЦ может рассматриваться как инструмент комплексной информационно-аналитической поддержки управления регионом.

В качестве технологической основы для создания ВКЦ предложено использовать мультиагентные [8], облачные [9] и веб-технологии, а также средства их интеграции [10], что обеспечивает возможность комплексной информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений в кризисных ситуациях на оперативном, тактическом и стратегическом уровнях на базе виртуализации и адаптивного моделирования проблемно-ориентированной деятельности субъектов регионального управления. Позиционирование ВКЦ как гибридного облачного решения делает его инструментарий доступным не только субъектам управления различного уровня и экспертам, но и всем заинтересованным государственным и некоммерческим организациям, использующим в своей практической деятельности Интернет-технологии и средства телекоммуникаций.

В ходе исследований была проведена серия экспериментов по программной реализации исследовательского прототипа ВКЦ в виде гибридного облака, построенного на базе сервисной архитектуры IaaS (Infrastructure as a service – инфраструктура как сервис) [11]. Для этого инсталлировано и использовано следующее специальное программное обеспечение: гипервизор (монитор виртуальных машин) Microsoft Hyper-V Server, облачная платформа OpenNebula, веб-сервер Apache, СУБД MySQL, операционная система Ubuntu 12.04 LTS, управляющее ядро и компоненты распределенной агентной платформы [12] для исполнения и поддержки функционирования мобильных программных агентов (включая JADE-компоненты), а также специализированные веб-сервисы: OpenMeetings, GeoServer, FreeBase, Redmine, Ushahidi, Sage и другие, используемые для оперативной аналитической обработки распределенных данных с территориальной привязкой, интеграции разнородных информационных ресурсов и обеспечения коллективной работы пользователей в сети Интернет. Базовые шаблоны программных агентов для разнотипных субъектов управления разработаны на платформе JADE (Java Agent Development Environment) [13] с использованием инструментальных средств AgentBuilder [14] и Cougaar (Cognitive Agent Architecture) [15] на языке Java в соответствии со стандартом FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) [16] и методологией проектирования многоагентных приложений GAIA [17]. Интеграция сервисов агентов, облачных и веб-сервисов в рамках ВКЦ позволяет субъектам управления региональной безопасностью использовать современные когнитивные информационные технологии и инструменты моделирования для выработки согласованных стратегий и принятия управленческих решений в кризисных ситуациях в условиях неопределенности и риска. Структура и схема работы ВКЦ как гибридного облачного сервиса приведена на рис. 2.

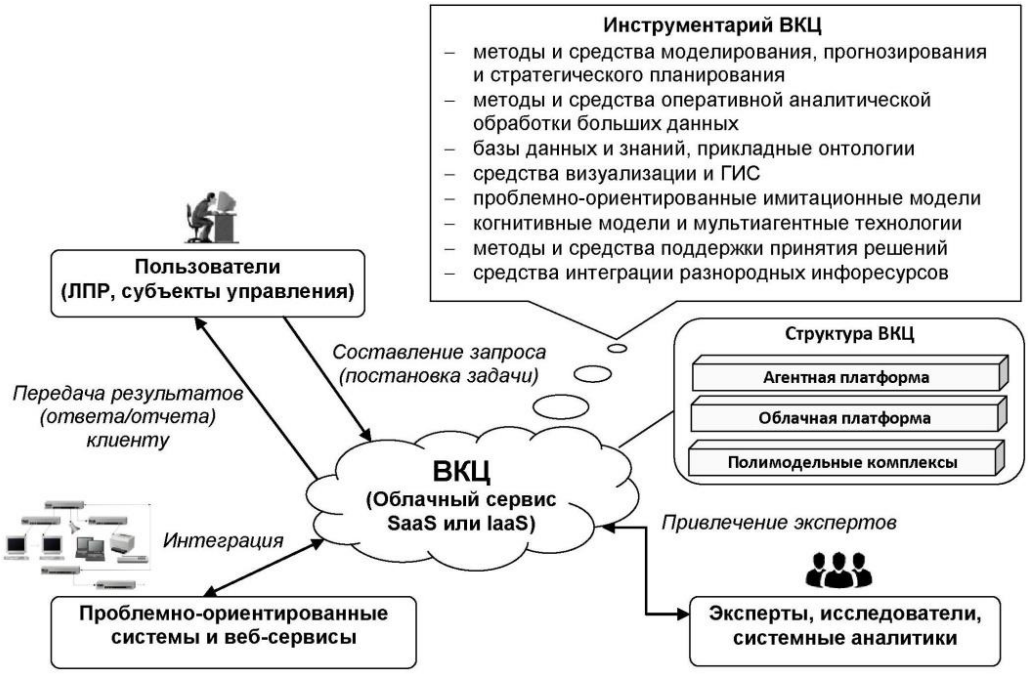


Рисунок 2 - Структура и схема работы ВКЦ на базе облачных технологий

Обозначения на рис. 2: ВКЦ – виртуальный когнитивный; центр; ГИС – геоинформационные системы; ЛПР – лица, принимающие решения; SaaS – Software as a Service (модель обслуживания по принципу программное обеспечение как сервис); IaaS – Infrastructure as a Service (модель обслуживания по принципу инфраструктура как сервис).

Основной инструментарий ВКЦ включает средства оперативного, разностороннего анализа текущих бизнес- и социально-экономических процессов, а также средства оперативного прогнозирования и стратегического планирования социально-экономического развития для задач информационной поддержки управления региональными системами в слабоструктурированных кризисных ситуациях. Кроме того, в состав основного инструментария ВКЦ входят технологии поддержки коллективной работы экспертов в режиме реального времени при оказании информационных услуг субъектам регионального управления и бизнес-структурам различных отраслей и сфер деятельности, связанных с предоставлением средств оперативной аналитической обработки и проблемно-ориентированного поиска информации для поддержки принятия управленческих решений по преодолению кризисных и экстремальных ситуаций.

Формирование координационных комиссий и экспертных рабочих групп по различным аспектам управления региональной безопасностью в рамках сети ВКЦ осуществляется автоматизированным путем посредством использования специального инструмента - веб-сервиса Barentsnet [18], интегрированного в функциональную структуру ВКЦ. Barentsnet – это не только реестр экспертов в области безопасности, но и профессиональная социальная сеть, представляющая собой виртуальную интеграционную площадку для взаимодействия субъектов управления безопасностью региона и обеспечивающая автоматизированный поиск субъектов совместной деятельности для реализации сценариев управления безопасностью.

Используемый инструментарий обеспечивает решение комплекса задач формализации, интеграции, согласования, обработки, анализа и интерактивной визуализации коллективных экспертных знаний для информационной поддержки принятия управленческих решений в сфере региональной безопасности, а также моделирование поведения субъектов управления в условиях кризисных ситуаций.

Экспериментальной площадкой для развертывания сети ВКЦ на территории Арктической зоны России является информационно-коммуникационная инфраструктура действующих и создаваемых в арктических регионах СЦ, например, таких как Единая национальная диспетчерская служба Арктики (г. Архангельск), Центр исследований и обеспечения безопасности в Арктике (г. Мурманск), региональные центры управления в кризисных ситуациях МЧС России. Объединение потенциала этих центров посредством формирования сети ВКЦ позволит построить комплексную систему управления региональной безопасностью и обеспечит ее адаптивность и координацию в условиях децентрализованного управления безопасностью критически важных объектов региональной экономики.

Перспективность предложенного подхода к расширению возможностей существующей системы распределенных СЦ за счет виртуализации процессов управления на базе сети ВКЦ хорошо согласуется с выводами и результатами современных исследований, например, [19].

Состояние развития СЦ в субъектах РФ СЗФО

Необходимость увязки развития СЦ с направлениями модернизации российской экономики и цифровой трансформации системы государственного управления обусловлена четырьмя факторами [20]:

для осуществления стратегического, тактического и оперативного планирования мер по обеспечению безопасности социально-экономического развития государства и субъектов РФ существует объективная необходимость обмена информацией между СЦ Президента, Правительства РФ и других органов государственной власти, а также СЦ регионального уровня;

работы по проектированию и созданию СЦ в ряде министерств и Субъектах РФ ведутся без учета необходимости их интеграции с действующими СЦ;

необходимо провести работу по созданию единого информационного пространства субъектов РФ, а также по разработке и внедрению информационно-аналитических систем для поддержки принятия управленческих решений во все сферы регионального управления;

в настоящее время уже разработаны концептуальные подходы к созданию системы распределенных СЦ и использованию доверенной программно-аппаратной среды на основе специальных средств защиты информации.

Показатели состояния развития и готовности к эксплуатации региональных СЦ в субъектах РФ Северо-Западного Федерального округа (СЗФО) приведены в таблице.

Показатели состояние развития СЦ в субъектах РФ СЗФО (на апрель 2019 г.) Таблица

№ п/п	Субъект РФ	ТЗ	Проект	Аппаратный комплекс	Программный комплекс	Уровень готовности
1.	Архангельская область	100%	100%	40%	80%	50%
2.	Вологодская область	100%	100%	80%	80%	70%
3.	Калининградская область	100%	100%	40%	40%	40%
4.	Республика Карелия	100%	20%	20%	5%	13%
5.	Республика Коми	100%	100%	40%	40%	40%
6.	Ленинградская область	100%	100%	40%	20%	30%
7.	Мурманская область	100%	100%	80%	20%	50%
8.	Ненецкий автономный округ	100%	100%	100%	20%	60%
9.	Новгородская область	100%	100%	80%	40%	60%
10.	Псковская область	100%	20%	20%	5%	13%
11.	Санкт-Петербург	100%	100%	100%	100%	100%
12.	СЗФО	100%	100%	100%	40%	70%

К примеру, в Мурманской области создаются СЦ, которые предназначены для поддержки оперативного принятия управленческих решений и мониторинга социально-экономической ситуации в регионе. Однако на текущий момент они находятся еще в стадии развития. По экспертным оценкам на апрель 2019 г. проектирование и разработка СЦ Главы Мурманской области практически завершена – общая готовность СЦ к эксплуатации составляет 50%, в том числе выполнение технического задания - 100%, реализация проекта – 100%, готовность аппаратного комплекса – 80%, готовность программного комплекса – 20%. Дополнительно требуется создание и внедрение средств интеллектуальной поддержки принятия решений в работу этого СЦ, а также развертывание и настройка информационно-коммуникационной инфраструктуры СЦ для стыковки с другими СЦ региона и интеграции в сетецентрическую систему СЦ.

Отдельные ведомства, отвечающие за различные стороны региональной безопасности, являются организационно разобщенными и имеют разные цели и сферы интересов. Поэтому управлять ими и координировать их деятельность чрезвычайно трудно. Для повышения эффективности их деятельности предлагается формирование единого информационного пространства СЦ, как попытка объединить их всех под эгидой сетецентрического управления [21]. Это будет способствовать решению существующих проблем управления региональной безопасностью, особенно в условиях перехода государства к цифровой экономике.

Заключение

В ходе исследования получены следующие основные результаты:

Предложен подход к расширению системы распределенных ситуационных центров за счет формирования сети виртуальных когнитивных центров управления, обеспечивающих повышение уровня ситуационной осведомленности в сетецентрической системе управления региональной безопасностью.

Разработан прототип виртуального когнитивного центра управления региональной безопасностью, реализованный в виде гибридного облачного сервиса на базе IaaS-архитектуры с применением технологий автономных программных агентов и веб-сервисов.

Предложена модель функциональной организации виртуального когнитивного центра и выполнена программная реализации его базовых функциональных компонентов.

Исследования показали, что лимитирующими факторами, влияющими на внедрение виртуальных когнитивных центров в работу субъектов управления

безопасностью, являются несовершенство нормативно-правовой базы и, как следствие, сложность позиционирования этих центров в структуре государственного управления, как на региональном, так и федеральном уровнях.

Полученные результаты будут использованы при реализации основных направлений государственной политики РФ в Арктике на период до 2035 года в части разработки методов и средств поддержки принятия решений для информационно-аналитического обеспечения региональных ситуационных центров Мурманской области.

Результаты исследований и сформированные на их основе рекомендации получены в рамках выполнения государственного задания ИИММ КНЦ РАН (тема № 0226-2019-0035). Научное обоснование и практическая реализация разработок выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-29-03022-мк).

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслобоев А.В. Концепция Центра перспективных исследований и обеспечения безопасности Арктики // Арктика: экология и экономика. - 2019. - №2(34). – С. 129-143.

2. Салухов В.И., Соколов Б.В. Информационно-методические основы формирования системы распределенных ситуационных центров и центров компетенций // Модели мышления и интеграция информационно-управляющих систем: материалы II Междунар. науч. конф. – Нальчик: КБНЦ РАН, 2018. - С. 72-76.

3. Oleynik A., Fridman A., Masloboev A. Informational and analytical support of the network of intelligent situational centers in Russian Arctic // CEUR Workshop Proceedings. 2018. vol. 2109. pp. 57-64.

4. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации (Указ Президента РФ от 31 декабря 2015 г. N 683). URL: http://kremlin.ru/acts/bank/40391

5. Когнитивные центры как информационные системы для стратегического прогнозирования / И.В. Десятов и др. // Информационные технологии и вычислительные системы. 2011. №1. С. 65-81.

6. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 488 с.

7. Маслобоев А.В., Путилов В.А. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 222 с.

8. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems. Second Edition. John Wiley & Sons, 2009. 484 p.

9. Официальный сайт специального программного обеспечения «Облачный сервис сетевой экспертизы». URL: http://nsa-ltd.ru.

10. Сухорослов, О.В. Интеграция вычислительных приложений и распределенных ресурсов на базе облачной программной платформы / О.В. Сухорослов // Программные системы: теория и приложения: электрон. научн. журн. 2014. Т. 5., №4(22). С. 171-182.

11. Проект IACPaaS. Комплекс для интеллектуальных систем на основе облачных вычислений / В.В. Грибова и др. // Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. № 1. С. 27–35.

12. Маслобоев А.В., Горохов А.В. Проблемно-ориентированная агентная платформа для создания полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью региона // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 2 (78). С. 60–65.

13. Sallam, A. Integration of Web Services and Agent technologies: Web Services supervision system based on JADE. LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 96 p.

14. AgentBuilder – an integrated software toolkit that allows software developers to quickly develop intelligent software agents and agent-based applications. URL: http://www.agentbuilder.com.

15. Cognitive Agent Architecture (Cougaar) Open Source Project site. URL: http://cougaar.org.

16. Liu Ch.-H., Chen J. J.-Y. A Group Agent Architecture Based on FIPA and Ontology: A novel approach to build an agent system in multiple abstraction layers. LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 64 p.

17. Deloach S.A., Garcia-Ojeda J.C. O-MaSE: a customisable approach to designing and building complex, adaptive multi-agent systems // International Journal of Agent-Oriented Software Engineering. 2010. Vol. 4., Iss. 3. pp. 244-280.

18. Маслобоев А.В. Разработка социальной сети BarentsNet для задач информационного обеспечения безопасности и инновационного развития арктических регионов // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. 2014. Т. 17. №3. С. 523-530.

19. Зуев А.С., Фадеев И.С. Виртуальные ситуационные центры - новый инструмент управления социально-экономическими системами // Информационные технологии. 2016. Т. 22. № 3. С. 229-232.

20. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М., Пухов Г.Г. Методология и технологии создания и использования систем поддержки принятия решений в ситуационных центрах при управлении сложными объектами // Мат. XI Российской мультиконф. по проблемам управления. СПб: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2018. С. 17-30.

21.Игнатьев М.Б. Просто Кибернетика. СПб: «Страта», 2016. 248 с.

Бецков А.В.

Академия управления МВД России, Москва, Россия

О НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКЕ МВД РОССИИ до 2030 года

Авторским коллективом Академии управления МВД России совместно с подразделениями центрального аппараты МВД России, ведущими научными и образовательными организациями системы МВД России в 2019 году проведена и успешно сдана заказчику научно-исследовательская работа о формировании Концепции научно-технической политики МВД России до 2030 года.

Актуальность проведения данной научно-исследовательской работы очень высока. Потребность в подобном документе МВД России испытывало в течение нескольких последних лет.

Основные вызовы и угрозы в сфере внутренних дел определяются воздействием внешних факторов по отношению к системе МВД России (в том числе угрозы государственной и общественной безопасности определённые Стратегии национальной в безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента РФ от 31.12.2015 № 683),

Внешние факторы

- организованная преступность, в том числе транснациональная, связанная с незаконным оборотом наркотических средств и психотропных веществ, оружия, боеприпасов, взрывчатых веществ, организацией незаконной миграции и торговлей людьми;
- изменения в социально-демографической характеристике обслуживаемой территории органами внутренних дел Российской Федерации;
- нарастающее информационное противоборство радикально настроенных лиц, связанное с эскалацией протестных настроений граждан;
- деятельность радикальных общественных объединений и группировок;
- возрастание социально-экономической напряженности;
- коррупция;

- нецелевое расходование и расхищение бюджетных средств, выделенных на реализацию национальных проектов (программ), а также крупных инвестиций на развитие экономики и социальной сферы;
- противоправное использование информационных и коммуникационных технологий;
- мошенничество в кредитно-финансовой и иных сферах;
- стихийные бедствия, аварии и катастрофы, в том числе связанные с глобальным изменением климата, ухудшением технического состояния объектов социальной инфраструктуры и возникновением ЧС;
- снижение эффективности механизмов правового регулирования и правоприменения;
- снижение эффективности государственного и муниципального администрирования, бюрократизация управления.

а также внутренних факторов. Внутренние факторы

- бюрократизация внутреннего администрирования и взаимодействия с населением;
- укрытие заявлений (сообщений) о преступлениях, административных правонарушениях, происшествиях от регистрации и учета;
- низкая эффективность и качество предварительного следствия и дознания; нарушения законности в административном процессе и при расследовании уголовных дел;
- технологическое отставание практических органов внутренних дел по ключевым направлениям – формированию единого эффективного информационного пространства, технологиям ситуационного управления, робототехническим и аэромобильным комплексам.
- низкий уровень материально-технического обеспечения органов внутренних дел;
- неудовлетворительные финансовые условия для стимулирования результатов деятельности сотрудников, федеральных государственных гражданских служащих и работников системы МВД России.
- низкая эффективность системы подготовки и повышения квалификации кадров для органов внутренних дел.

В условиях сокращения личного состава органов внутренних дел, возрастающего количества массовых и публичных мероприятий, проводимых в стране, а также угроз террористического и экстремистского характера, актуализируется необходимость внедрения современных технических средств, в т.ч. АПК «Безопаснвй город», «Умный город», обеспечивающих правопорядок на улицах и в иных общественных местах.

Минимизация негативных последствий организационно-штатных мероприятий путем широкого задействования технических средств аппаратно-программного комплекса «Безопасный город», «Умный город», «Цифровой полицейский», в том числе систем видеонаблюдения, способно частично решить проблему отсутствия нарядов полиции на территории обслуживания ОВД.

В период до 2030 года наибольшее влияние на криминогенную обстановку в стране по направлениям деятельности МВД России по имеющимся данным окажут три взаимосвязанных фактора;

- преступность в сфере высоких технологий (прежде всего компьютерных и при использовании электронных платежных систем);
- демографические (в том числе миграционные) процессы;
- рост «профессионализма» преступников. Профессионализм преступника - вовлечение в преступную деятельность новых технологий и современных информационно-технических систем.

Преступность в сфере высоких технологий и электронных платежей, при сохранении имеющейся динамики, к 2030 году превзойдет в количественном отношении все остальные виды преступлений.

Ситуация усугубляется крайне высокой трудоёмкостью расследования преступлений, совершенных с использованием компьютерных и иных высоких технологий, а также недостаточной соответствующей следственной и судебной практики.

Особую опасность представляет социальная напряженность, обусловленная инфляцией, снижением реальных доходов населения, конкуренцией на рынке труда, высокой закредитованностью населения.

Научными исследованиями охвачены все важнейшие направления деятельности органов внутренних дел и стратегические направления развития системы МВД России. На научной основе осуществляется разработка предложений по совершенствованию уголовного, уголовно-процессуального, административного, оперативно-розыскного, антинаркотического и миграционного законодательств, законодательства о противодействии терроризму, экстремизму, коррупции, а также ведомственных нормативных правовых актов, регламентирующих деятельность органов внутренних дел.

Научно-техническое обеспечение деятельности ОВД находится в неразрывной взаимосвязи с научно-технологическим комплексом России, состояние которого в настоящее время определяется следующими факторами [1]:

- исчерпание научно-технологического задела, оставшегося от советского периода;
- возрастающий разрыв между потребностями практики в новых технологиях и предложениями отечественных разработчиков и производителей научно-технической продукции;
- нарастающий дисбаланс между имеющимся научно-технологическим заделом, финансированием не коммерческих перспективных прикладных исследований и финансированием коммерческих опытно-конструкторских работ, что приводит к недостаточности заделов для проведения прикладных НИР и ОКР даже в рамках возможностей финансирования последних;
- ограниченное участие бизнеса, в том числе компании с государственным участием в финансировании формирования научно-технологического задела;
- отсутствие системности в планировании и координации как фундаментальных, так и прикладных исследований, выполняемых за счет государственного бюджета;
- низкая эффективность расходования бюджетных средств.

Помимо этого, на эффективность научно-технического обеспечения деятельности ОВД оказывают влияние следующие социально-демографические и экономические факторы:

- снижение качества образования по техническим специальностям;
- снижение количества квалифицированных кадров в сфере науки и производства по мере их старения;
- прямое отрицательное влияние западной политики и транснациональных корпораций на развитие научно-технологического потенциала, в том числе в форме санкций, организации «утечки мозгов»;
- снижение объёмов бюджетного финансирования научно-технологического развития.

В системе МВД России сегодня не имеется головного органа, обеспечивающего реализацию научно-технической политики. После упразднения в 2001 году Технического управления МВД России решение задач научно-технического обеспечения деятельности фактически выполняет ФКУ НПО «СТиС» МВД России.

Вместе с тем в большинстве иных федеральных органах исполнительной власти, обеспечивающих безопасность государства, в том числе Минобороны, ФСБ, МЧС, такие органы существуют и показывают высокую эффективность.

Окончательное решение о разработке проекта Концепции и определении головного исполнителя было принято 16 ноября 2018 г. на совещании у заместителя Министра внутренних дел Российской Федерации генерал-лейтенанта полиции Виталия Дмитриевича Шулики.

Основным исполнителем была определена Академия управления МВД России.

В качестве заказчика научной продукции выступил ДИТСиЗИ МВД России.

К проведению НИР были привлечены ведущие научные и образовательные организации системы МВД России. Серьезное участие в НИР приняло НПО «СТиС» МВД России, коллектив которого в рамках полученного от Академии управления МВД России технического задания подготовил обоснование дальнейшего развития специальной техники, специальных информационно-коммуникационных технологий и средств связи, специального вооружения и боеприпасов к нему.

Авторским коллективом проведена оценка современного состояния нормативно-правовой базы, регулирующей научно-техническую деятельность МВД России и вопросы стратегического планирования в РФ. Изучены концепции, стратегии и иные программные документы, разработанные Правительством РФ, МВД России и иными федеральными органами исполнительной власти в области информатизации, связи, коммуникаций, технической защиты информации, иных разделов техники и технологий, а также по вопросам ресурсного обеспечения деятельности МВД России. Проанализированы условия и перспективы научно-технического развития МВД России с учетом потенциала отечественной науки и техники.

После этого удалось сформулировать целевую направленность разрабатываемой Концепции и перечень основных проблем, на преодоление которых она должна быть направлена. Это:

объективная необходимость повышения эффективности деятельности органов внутренних дел Российской Федерации за счет их оснащения современными и перспективными технологиями (в том числе информационными), специальной техникой, специальным вооружением и боеприпасами к нему, на основе передовых достижений науки и техники;

необходимость укрепления и наращивания научно-технического потенциала в сфере деятельности органов внутренних дел Российской Федерации;

необходимость приведения организационно-штатного построения органов внутренних дел, системы ведомственных нормативных правовых актов, в соответствие с требованиями законодательства в сфере стратегического планирования и положений документов, определяющих направления научно-технического развития Российской Федерации.

Настоящая Концепция представляет собой систему стратегических взглядов по осуществлению научно-технической деятельности, цели, задачи, приоритеты, направления и формы (механизм) реализации научно-технической политики в сфере деятельности органов внутренних дел Российской Федерации.

Научно-техническая политика Министерства внутренних дел Российской Федерации является составной частью государственной научно-технической политики.

Концепция является руководящим документом долгосрочного планирования и регулирования отношений между субъектами научно-технической деятельности и потребителями научно-технической продукции, в том числе в рамках поддержки инновационного развития в системе МВД России.

Структура Концепции содержит следующие разделы:

Общие положения

Цель, задачи и принципы научно-технической политики МВД России

Приоритеты научно-технической политики МВД России

Направления реализации концепции научно-технической МВД России

Механизм реализации концепции научно-технической политики МВД России

Согласно наименованиям разделы содержат цель, задачи и принципы научно-технической политики МВД России, приоритеты НТП и основные направления внедрения и использования достижений науки и техники для выполнения задач органами внутренних дел Российской Федерации, а также механизм реализации концепции научно-технической политики МВД России до 2030 года.

При разработке проекта Концепции был применен функциональный подход к формированию направлений реализации Концепции.

Все функции и полномочия, реализуемые МВД России, как органом исполнительной власти в сфере внутренних дел, были объединены в три основные направления деятельности ОВД (внешняя деятельность):

Охрана общественного порядка и обеспечение общественной безопасности (в том числе профилактика, предупреждение преступлений и административных правонарушений).

Выявление, пресечение, раскрытие и расследование преступлений (в том числе оперативно-разыскная и экспертно-криминалистическая деятельность).

Предоставление государственных услуг.

Дополнительно к основным направления в Концепции указаны пять направлений ресурсного и иного обеспечения деятельности ОВД (внутренняя сфера):

Информационные и коммуникационные технологии, средства связи, системы защиты информации, кибербезопасность.

Специальное вооружение и боеприпасы к нему, специальная техника, средства защиты и бронезащиты.

Системы и технологии ситуационного управления.

Научное, правовое и кадровое обеспечение.

Финансовое, материально-техническое и медицинское обеспечение.

Мероприятия по научно-техническому совершенствованию охраны общественного порядка и обеспечения общественной безопасности (в том числе профилактика, предупреждение преступлений и административных правонарушений):

Дальнейшее развитие технологии мониторинга обстановки в целях охраны общественного порядка и обеспечения общественной безопасности.

Развитие технологий в сфере обеспечения безопасности дорожного движения.

Совершенствование системы управления нарядами полиции и иными силами и средствами, задействованными в охране общественного порядка и обеспечении общественной безопасности.

Внедрение роботов и робототехнических систем.

Мероприятия, направленные на научно-техническое обеспечение деятельности ОВД по выявлению, пресечению, раскрытию и расследованию преступлений (в том числе в сфере оперативно-розыскной и экспертно-криминалистической деятельности):

Совершенствование оперативно-технических средств.

Развитие технологий обеспечения уголовного и административного процессов.

Совершенствование применения экспертно-криминалистической техники и технологий.

Совершенствование технологий предоставления государственных услуг:

модернизация электронных форм подачи заявлений на получение государственных услуг;

развитие web-сервисов, в том числе с использованием мобильных приложений;

дальнейшее развитие межведомственного информационного взаимодействия в сфере оказания государственных услуг в электронном виде;

внедрение автоматизированной информационной системы обжалования действий (бездействия) и решений должностных лиц, как составной части единой автоматизированной информационной системы «Ходатайства и жалобы».

Мероприятия в сфере совершенствования информационных и коммуникационных технологий, средств связи, систем защиты информации, обеспечения кибербезопасности:

Внедрение новых и совершенствование существующих информационных и коммуникационных технологий.

Совершенствование систем и средств связи.

Совершенствование деятельности в сфере защиты информации и информационной безопасности.

Мероприятия по совершенствованию специального вооружения и боеприпасов к нему, специальной техники, средств защиты и бронезащиты:

Совершенствование специального вооружения и боеприпасов.

Совершенствование средств защиты и бронезащиты.

Совершенствование транспортного обеспечения:

оперативно-служебного транспорта;

служебно-боевых транспортных средств;

служебного водного транспорта;

служебных летательных (воздухоплавательных) аппаратов и аэромобильных комплексов посредством разработки и формирования новых целевых систем.

Внедрение и развитие систем и технологий ситуационного управления:

Внедрение систем поддержки принятия управленческих решений

Совершенствование деятельности дежурных частей

Совершенствование подвижных пунктов управления

Научное, правовое и кадровое обеспечение:

Научно-техническое информирование и информатизация научных исследований.

Информатизация в правовой работе.

Научно-техническое обеспечение образования.

Совершенствование психологического обеспечения и психофизиологического обследования.

Финансовое, материально-техническое и медицинское обеспечение:

Информатизация финансового обеспечения.

Информатизация материально-технического обеспечения.

Совершенствование медицинских технологий.

Реализацию Концепции предполагается осуществить в три этапа:

(2020-2021 гг.) Проведение реорганизации системы управления научно-технической политикой МВД России, внесение изменений в нормативные правовые акты и организационную структуру МВД России. Выполнение научно-исследовательских работ и подготовка к проведению опытно-конструкторских работ.

(2022 – 2024 гг.) Выполнение НИР и ОКР по разработке современных и фундаментальных перспективных образцов специальной техники, специального вооружения и боеприпасов к нему, разработки специальных технологий. Апробация и опытная эксплуатация разработанных образцов и технологий на базе экспериментальных площадок территориальных ОВД. Разработка раздела МВД России в Государственной программе вооружения 2024 – 2030 гг. с учетом результатов НИР, ОКР и опытной эксплуатации образцов специальной техники, специального вооружения и боеприпасов к нему, разработки специальных технологий. Внесение изменений в номенклатуру специальных средств, специальных технологий, специального вооружения и боеприпасов к нему, а также в нормы положенности на данные средства и технологии.

(2025 – 2030 гг.) Мероприятия по оснащению ОВД в соответствии с нормами положенности современными образцами специальной техники, специального вооружения и боеприпасов к нему, специальными технологиями в соответствии с перечнями специальных средств, специальных технологий, специального вооружения и боеприпасов к нему, принятых на вооружение в МВД России.

В ходе проведения исследования достигнута его цель - разработка проекта концепции научно-технической политики МВД России до 2030 года.

Решены задачи исследования:

произведена оценка современного состояния и перспектив научно-технического развития МВД России с учётом потенциала отечественной науки и техники;

определены основные направления внедрения и использования достижений науки и техники для выполнения задач органами внутренних дел Российской Федерации;

определены цели, задачи и принципы научно-технической политики МВД России;

разработан механизм реализации концепции научно-технической политики МВД России до 2030 года.

Проект Концепции был отработан и своевременно направлен заказчику, получен акт приемки, прошел обсуждение на заседании Научно-технического Совета МВД России при руководстве ведомства. Результаты освещены общественности 30 октября 2019 года в Академии управления МВД России (докладчик начальник кафедры информационных технологий д.т.н., доцент Бецков А.В.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Правительства РФ от 02.05.2013 № 736-р «Об утверждении Концепции федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России" на 2014 - 2020 годы»

УДК 62.192

Садыхов Г.С.,+ Кудрявцева С.С.

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

РАСЧЕТ И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ НАРАБОТКАХ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КАК СМЕСЬ ДВУХ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Для невосстанавливаемых технических объектов, наработки которых распределены как смесь двух экспоненциальных распределения, доказаны формулы расчета и оценок показателей надежности, а также исследованы основные характеристики надежности.

Ключевые слова:

ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ, СРЕДНИЙ РЕСУРС, ГАММА-ПРОЦЕНТНЫЙ РЕСУРС

Введение

В каждом техническом объекте существует определенное количество разных причин отказов, которые проявляются по разным законам распределения наработок до отказа. Поэтому в статье решается задача расчета и оценок показателей надежности невосстанавливаемого объекта, наработки до отказа которых распределены как смесь распределений.

Функция распределения наработок до отказа объекта $F(t)$ для смеси n функций распределений $F_i(t)$, $i = 1,2,\dots,n$ определяется по формуле [1]

$$F(t) = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i F_i(t),$$

где $t > 0$ – время, $\alpha_i > 0$ – постоянные, причем

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1.$$

Основная часть

Для простоты дальнейших рассуждений рассмотрим смесь из двух экспоненциальных распределений [2]

$$F_1(t) = 1 - exp(\lambda_1 t), F_2(t) = 1 - exp(\lambda_2 t),$$

где $\lambda_1 > 0$ – интенсивность отказов объекта при первом распределении наработок до отказа, $\lambda_2 > 0$ – при втором. Положим, что

$$\lambda_1 < \lambda_2. \quad (1)$$

Тогда вероятность безотказной работы невосстанавливаемого объекта в течение времени t будет равна

$$P(t) = \alpha_1 exp(-\lambda_1 t) + \alpha_2 exp(-\lambda_2 t), \quad (2)$$

так как

$$P(t) = 1 - F(t),$$

где

$$F(t) = \alpha_1(1 - exp(-\lambda_1 t)) + \alpha_2(1 - exp(\lambda_2 t)),$$

$\boldsymbol{\alpha_1, \alpha_2}$ – положительные постоянные, причем

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1.$$

Используя формулу для интенсивности отказов [1]

$$\lambda(t) = -\frac{P'(t)}{P(t)},$$

найдем согласно (2)

$$\lambda(t) = \frac{\alpha_1\lambda_1 exp(-\lambda_1 t) + \alpha_2\lambda_2 exp(-\lambda_2 t)}{\alpha_1 exp(-\lambda_1 t) + \alpha_2 exp(-\lambda_2 t)}.$$

Откуда получим упрощенную формулу для функции интенсивности отказов в следующем виде:

$$\lambda(t) = \frac{\alpha_1\lambda_1 + \alpha_2\lambda_2 exp(-(\lambda_2 - \lambda_1)t)}{\alpha_1 + \alpha_2 exp(-(\lambda_2 - \lambda_1)t)}. \quad (3)$$

Переходя к пределу с учетом (1), получим

$$\lim_{t\to\infty}\lambda(t) = \lambda_1, \quad (4)$$

т.е. у функции интенсивности отказов рассматриваемого объекта есть горизонтальная асимптота.

Продолжая исследовать функцию интенсивности отказов объекта, используя формулу (3), получим

$$\lambda'(t) = -\frac{\alpha_1\alpha_2(\lambda_2^2 - \lambda_1^2) exp(-(\lambda_2 - \lambda_1)t)}{(\alpha_1 + \alpha_2 exp(-(\lambda_2 - \lambda_1)t))^2}.$$

Видно, что правая часть полученного выражения отрицательная. Значит функция интенсивности отказов объекта монотонно убывает от значения $\lambda(0) = \alpha_1\lambda_1 + \alpha_2\lambda_2$ до значения асимптоты λ_1.

Используя формулу для расчета среднего ресурса [1]

$$R = \int_0^\infty P(t)dt$$

согласно выражения (2), найдем средний ресурс рассматриваемого объекта

$$R = \alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2,$$

где

$$R_1 = \frac{1}{\lambda_1}, R_2 = \frac{1}{\lambda_2}.$$

Далее найдем оценку гамма-процентного ресурса t_γ при заданном значении $\gamma, (0 < \gamma < 1)$. Для этого воспользуемся следующим уравнением:

$$\alpha_1 exp(-\lambda_1 t) + \alpha_2 exp(-\lambda_2 t) = \gamma.$$

Найти корень этого уравнения в явном виде не удается. Поэтому найдем его оценку. В связи с этим воспользуемся формулой [1]

$$P(t) = exp\left(-\int_0^t \lambda(u)du\right), \quad (5)$$

что позволяет записать соотношение

$$\int_0^{t_\gamma} \lambda(u)du = -\ln\gamma.$$

Используя тот факт, что $\lambda(u) < \lambda(0)$, получим

$$\lambda(0)t_\gamma > -\ln\gamma.$$

Откуда найдем следующую оценку:

$$t_\gamma > \frac{-\ln\gamma}{\lambda(0)}.$$

Так как

$$\lambda(0) < \lambda_2$$

то получим искомую оценку

$$t_\gamma \geq t_\gamma^{(2)},$$

где [3]

$$t_\gamma^{(2)} = \frac{-\ln\gamma}{\lambda_2}$$

гамма-процентный ресурс объекта при втором распределении наработок до отказа.

Далее, рассчитаем $R(\tau)$ – средний остаточный ресурс объекта сверх времени τ для рассматриваемого объекта при наработках с распределениями смеси экспоненциальных распределений.

Используя формулу [4]

$$R(\tau) = \frac{1}{P(\tau)}\int_\tau^\infty P(u)du,$$

где вероятности безотказной работы объекта $P(\tau)$ и $P(u)$ определены формулой (2), получим

$$R(\tau) = \frac{\alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2 exp(-(\lambda_2 - \lambda_1)\tau)}{\alpha_1 + \alpha_2 exp(-(\lambda_2 - \lambda_1)\tau)}. \quad (6)$$

Откуда найдем

$$\lim_{\tau\to\infty} R(\tau) = R_1.$$

Кроме того, можно показать, что функция $R(\tau)$, определенная формулой (6), монотонно растет от значения $R(0) = \alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2$ до значения R_1, которое является горизонтальной асимптотой функции $R(\tau)$.

Наконец, оценим показатель $T_\gamma(\tau)$ – гамма-процентный остаточный ресурс объекта сверх времени τ, который находится из следующего уравнения [3]

$$\frac{P(\tau + t)}{P(\tau)} = \gamma$$

при заданном значении $\gamma, (0 < \gamma < 1)$, как решение относительно $t = T_\gamma(\tau)$.

Используя формулу (5), имеем

$$\int_\tau^{\tau + T_\gamma(\tau)} \lambda(u)du = -\ln\gamma.$$

Откуда, учитывая монотонное убывание интенсивности отказов, получим

$$\lambda(\tau)T_\gamma(\tau) > -\ln\gamma.$$

Следовательно, искомая оценка следующая:

$$T_\gamma(\tau) > -\frac{\ln\gamma}{\lambda(\tau)}.$$

В частности

$$T_\gamma(\tau) > t_\gamma^{(2)},$$

так как

$$\lambda(\tau) < \lambda_2,$$

где

$$t_\gamma^{(2)} = -\frac{\ln\gamma}{\lambda_2}.$$

В заключение докажем следующий предел:

$$\lim_{\tau\to\infty} T_\gamma(\tau) = t_\gamma^{(1)}, \quad (7)$$

где

$$t_\gamma^{(1)} = \frac{-\ln\gamma}{\lambda_1}$$

гамма-процентный (безостаточный) ресурс объекта при первом распределении наработок до отказа.

Для доказательства воспользуемся следующей формулой [5]:

$$T_\gamma(\tau) = \int_\gamma^1 \frac{d\mu}{\mu\lambda\left(\tau + T_\mu(\tau)\right)}.$$

Переходя к пределу при $\tau \to \infty$ с использованием (4), получим

$$\lim_{\tau\to\infty} T_\gamma(\tau) = \frac{-\ln\gamma}{\lambda_1},$$

что доказывает (7).

Заключение

В статье доказаны расчетные формулы и оценки показателей надежности невосстанавливаемого объекта, наработки до отказа которых образуют смесь двух экспоненциальных распределений. Кроме того, исследованы функции интенсивности отказов, а также оценки показателей ресурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – Москва: URSS, 2013.

2. Вайнштейн И.И. Процесс восстановления и стратегии эксплуатации в теории надежности технических систем при наработках, распределенных как смесь двух экспоненциальных распределений / И.И. Вайнштейн, И.М. Федотова, Г.М. Цыбульский, Ю.В. Вайнштейн // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2017. - №2. – С. 84-90.

3. Садыхов Г.С. Гамма-процентные показатели эксплуатационной надежности и их свойства / Г.С. Садыхов // Изв. АН СССР. Сер.: Техническая кибернетика. – 1983. – №6. – С. 185-187.

4. Садыхов Г.С. Модели и методы оценки остаточного ресурса изделий радиоэлектроники / Г.С. Садыхов, В.П. Савченко, Н.И. Сидняев. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 382 с.

5. Sadykhov G.S. Technical Condition Control Calculation for Hazardous Industrial Facilities / G.S. Sadykhov // Journal of Machinery Manufactures and Reliability. – 2014. – Vol. 43. – P.327-332

УДК 621.391.82:621.396.677:51-74

Якимов А.Н.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Санкт-Петербург, Россия

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ НА ИЗЛУЧЕНИЕ МИКРОВОЛНОВОЙ АНТЕННЫ

Дано электродинамическое обоснование математической модели излучения кромки микроволновой антенны. Показаны условия, выполнение которых обеспечивает строгое решения задачи оценки влияния краевых эффектов на излучение такой антенны. Приведены формулы, позволяющие для конечно-элементного представления микроволновой антенны в соответствии с физической теории дифракции рассчитать неравномерную составляющая электрического поля, формируемую элементарным участком кромки излучающей поверхности антенны в точке наблюдения. В основе используемой модели лежит математическое описание электрического поля, формируемого распределением тока на ребре бесконечного двугранного клина. Представление кромки излучающей поверхности микроволновой антенны в виде сложного излучателя позволяет представить его поле в точке наблюдения как суперпозицию полей элементарных фрагментов (ребер), формирующих кромку. Такое представление позволяет оценить вклад излучения кромки в общее поле излучения и оценить влияние излучения кромки на диаграмму направленности микроволновой антенны.

Ключевые слова:

МИКРОВОЛНОВАЯ АНТЕННА, КРАЕВЫЕ ЭФФЕКТЫ, ДИФРАКЦИЯ, ВЛИЯНИЕ, ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), проекты №18-07-00110 А, №18-07-00111 А

Введение

Задача излучения микроволновой антенны сводится к оценке поля излучения создаваемого возбуждающими источниками гладкой поверхности антенны и ее кромки. В физической теории дифракции такими источниками являются равномерная и неравномерная составляющие поверхностного тока соответственно. Решение задачи дифракции плоской электромагнитной волны на поверхности произвольного идеально проводящего тела учитывает, что краевая волна, соответствующая неравномерной части тока, распространяясь вдоль поверхности тела, достигает соседних ребер, формирующих внешнюю кромку, и испытывает на них дифракцию, возбуждая вторичные краевые волны. Последние, в свою очередь порождают новые краевые волны и т. д. Для тел, размеры которых значительно больше длины волны, как у микроволновых антенн, обычно достаточно учесть только вторичную дифракцию, а дифракционным взаимодействием более высокого порядка можно пренебречь [1, 2].

Кроме того при расчете микроволновых антенн с непрерывной излучающей поверхностью (зеркальных антенн) обычно пренебрегают и взаимным влиянием элементов поверхности, при этом, тем не менее, обеспечивается приемлемая степень точности описания поля излучения. Дело в том, что главный лепесток диаграммы направленности (ДН) и несколько ее первых боковых лепестков в основном определяются токами самой излучающей поверхности, точнее равномерной частью токов. Дальние боковые лепестки определяются излучением равномерной и неравномерной составляющих тока. В области же заднего излучении ДН определяется лишь дифракционными эффектами на кромках зеркала [3-5].

Строгое электродинамическое решение задачи предусматривает обязательный учет краевых эффектов, возникающих в антенне, однако степень влияния этих эффектов на общее излучение антенн может быть разной. В связи с эти перспективным оказывается оценка влияния краевых эффектов на излучение микроволновой антенны использованием методов математического моделирования, которые позволяют отдельно рассчитать излучение гладкой поверхности антенны и ее кромки, а также оценить их вклад в общее излучение.

Основная часть

Рассмотрим решение поставленной задачи для монохроматических (гармонических) колебаний в линейной, однородной и изотропной среде. Эта задача относится к внешним задачам электродинамики и обычно формулируется как задача решения неоднородных уравнений Максвелла или уравнений Гельмгольца при наложении дополнительных условий: условия излучения на бесконечности (условия Зоммерфельда) или условия предельного поглощения.

Пусть внутри однородной и изотропной области V_i, ограниченной поверхностью S, дано произвольное распределение источников поля в виде электрических $\boldsymbol{I}$ и магнитных $\boldsymbol{I_m}$ токов, электрических ρ и магнитных ρ_m зарядов и требуется определить электромагнитное поле, т.е. векторы $\boldsymbol{E}$ и $\boldsymbol{H}$ в произвольной точке p внутри этой области.

Первое условие решения, справедливое для ограниченных излучающих и рассеивающих тел, требует того, чтобы поле на бесконечности относительно источника излучения представляло собой расходящуюся волну и, следовательно, на бесконечности отсутствовали источники поля. Математически условие Зоммерфельда формулируется так [6]:

$$\lim_{r\to\infty} r\,(\,\boldsymbol{E} + \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}\,[\,-\boldsymbol{r}_0, \boldsymbol{H}\,]\,) = 0$$
$$r\,|\,\boldsymbol{E}\,| < \infty. \qquad (1)$$

Здесь r – расстояние от некоторой фиксированной точки q источника излучения до точки наблюдения p; $\boldsymbol{r}_0$ – единичный вектор, направленный вдоль линии, соединяющей указанные точки, с началом в точке наблюдения p. Знак минус у вектора $\boldsymbol{r}_0$ в выражении (1) указывает, что источники излучения наблюдаются из точки p и волны распространяются в направлении противоположном вектору $\boldsymbol{r}_0$. Таким образом, источники излучения и поверхность S должны быть бесконечно удалены от точки наблюдения p. При этом, волны от источников излучения будут направлены к наблюдателю и относительно него будут не расходящимися, а сходящимися.

Второе из возможных дополнительных условий решения для излучающих и рассеивающих тел – условие предельного поглощения, в соответствии с которым полагают, что среда всюду обладаем малой проводимостью, и требуют, чтобы всюду вне источников поля были ограничены. После решения задачи проводимость сред полагается стремящейся к нулю. Это условие является более общим, чем (1), и допускает, что тело, на котором рассеивается волна, простирается в бесконечность [6].

Рассмотрим решение задачи об излучении микроволновой зеркальной антенны в форме Стрэттона – Чу. При этом важное значение приобретает определение граничных условий на излучающей поверхности антенны, так как позволяют по заданному полю в свободном пространстве определить как поле у границы раздела, так и внутри среды с заданными характеристиками. Излучающая поверхность антенны в этом случае является границей раздела между диэлектрической (воздушной) средой *1* и сплошной проводниковой средой *2* материала антенны (рис. 1).

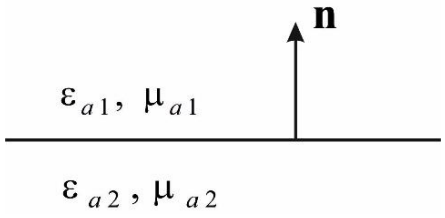


Рисунок 1 - Граница между двумя средами

Электрические и магнитные поля в средах *1* и *2* сопрягаются на поверхности раздела с помощью граничных условий [6-8]:

$$[\boldsymbol{E}_2 - \boldsymbol{E}_1,\ \boldsymbol{n}] = 0, \qquad [\boldsymbol{n}, \boldsymbol{H}_2 - \boldsymbol{H}_1] = \boldsymbol{j}_s, \quad (2)$$

где n – единичный вектор, направленный из среды *1* в среду *2*. Они означают, что при переходе границы раздела сред тангенциальная компонента E_τ вектора E всегда остается непрерывной, а тангенциальная компонента H_τ вектора H непрерывна только при отсутствии на границе поверхностного тока.

Для монохроматических полей могут вводиться приближенные граничные условия, справедливые, когда комплексная диэлектрическая проницаемость ε_{ca2} среды *2* по модулю велика по сравнению с диэлектрической проницаемость среды *1*. В этом случае поле в среде *2* в каждой точке представляет собой локально плоскую волну, направленную по нормали к поверхности раздела, векторы E и H которой параллельны поверхности раздела. Для такой плоской волны отношение E и H имеет размерность импеданса (характеристического сопротивления) и определяется формулой

$$Z = \sqrt{\mu_{a2}/\varepsilon_{ca2}}. \quad (3)$$

В силу условий непрерывности тангенциальных составляющих поля это равенство сохраняется и на поверхности раздела в среде *1*. В векторной форме граничное условие записывается как

$$[\boldsymbol{n}, \boldsymbol{E}_1] = Z[\boldsymbol{n}, [\boldsymbol{H}_1, \boldsymbol{n}]]. \quad (4)$$

Если считать среду *2* идеальным проводником, то поле в этой среде равно нулю и граничные условия сводятся к следующим условиям:

$$[\boldsymbol{n}, \boldsymbol{H}] = \boldsymbol{j}_s, \qquad [\boldsymbol{E},\ \boldsymbol{n}] = 0, \quad (5)$$

где $\boldsymbol{j}_s$ – поверхностная плотность электрического тока.

Если ввести декартову систему координат таким образом, чтобы ось z была направлена вдоль n (см. рис. 1), а оси *x* и *y* расположены в плоскости, касательной к границе раздела, то

$$[\boldsymbol{z}_0,\ \boldsymbol{E}_1] = Z\ [\boldsymbol{z}_0, [\boldsymbol{H}_1, \boldsymbol{z}_0]], \quad (6)$$

где $\boldsymbol{z}_0$ – единичный вектор вдоль оси z.

В матричной форме выражение (6) может быть представлено как

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{x_0} & \boldsymbol{y_0} & \boldsymbol{z_0} \\ 0 & 0 & 1 \\ E_x & E_y & 0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{\mu_{a2}}{\varepsilon_{ca2}}} \begin{bmatrix} \boldsymbol{x_0} & \boldsymbol{y_0} & \boldsymbol{z_0} \\ 0 & 0 & 1 \\ [\boldsymbol{Hz_0}]_x & [\boldsymbol{Hz_0}]_y & [\boldsymbol{Hz_0}]_z \end{bmatrix}$$

что эквивалентно $E_x y_0 - E_y x_0 = \sqrt{\mu_{a2}/\varepsilon_{ca2}}\,(H_y y_0 - H_x x_0)$.

Тогда

$$E_x = \sqrt{\mu_{a2}/\varepsilon_{ca2}}\, H_y, \quad E_y = \sqrt{\mu_{a2}/\varepsilon_{ca2}}\, H_x. \quad (7)$$

Условия в форме (6) и (7) – приближенные граничные условия Леонтовича. Дополнительно к условию $|\varepsilon_{ca2}| >> |\varepsilon_{ca1}|$ для обеспечения справедливости граничных условий Леонтовича и рассматриваемого подхода необходимо выполнение следующих требований [6, 8]:

– радиус кривизны поверхности раздела должен быть велик по сравнению с длиной волны в среде 2;

– поле вдоль поверхности раздела должно меняться мало на расстоянии, равном длине волны;

– необходимо вводить граничное условие на бесконечности, которое для монохроматических полей обеспечивается условием Зоммерфельда (1).

Граничные условия, аналогичные условиям Леонтовича, могут быть получены, если представить компоненты поля в виде произведения медленно меняющихся функций координат γ на экспоненту, представляющую плоскую волну, что характерно для дальней зоны излучения первичных источников электромагнитных волн (например, облучателей зеркальных антенн) [8]:

$$E|_{z=0} \approx \gamma\ e^{i(k_x x + k_y y)}, \quad (8)$$

где граница раздела считается плоской, совпадающей с плоскостью $z = 0$, а функция γ – удовлетворяющей неравенствам

$$\left|\frac{1}{k_x \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial x}\right| << 1, \qquad \left|\frac{1}{k_y \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial y}\right| << 1. \quad (9)$$

Здесь k_x, k_y – волновые числа электромагнитного поля вдоль осей *x* и *y* соответственно.

Рассматривая излучающую поверхность антенны как сложный излучатель, можно представить его поле в точке наблюдения как суперпозицию полей $\boldsymbol{E}_{pi}$ элементарных площадок, формирующих эту поверхность:

Зная сферические компоненты $E_{\varphi i}$ и $E_{\theta i}$ поля $\boldsymbol{E}_{pi}$ каждой элементарной площадки, сферические компоненты $E_{\varphi\, j}$ и $E_{\theta\, j}$ поля $\boldsymbol{E}_{pj}$ каждого краевого ребра излучающей поверхности антенны относительно глобальной системы координат, можно простым суммированием получить компоненты общего поля излучения антенны [8, 9]:

$$E_\theta = \sum_i E_{\theta\, i}\ + \sum_j E_{\theta\, j}. \quad (10)$$

Отношение E_φ и E_θ, к их максимальным значениям представляет собой функции, описывающие нормированные ДН по полю в плоскости горизонтальной и вертикальной поляризационных составляющих падающей электромагнитной волны соответственно.

Неравномерная составляющая электрического поля $\boldsymbol{E}_{pi}$, формируемая элементарным участком кромки излучающей поверхности в точке наблюдения $\boldsymbol{p}$, в соответствии с физической теории дифракции может быть представлена как поле, формируемое распределением тока на ребре бесконечного двугранного клина. Как и ранее, полагаем, что на излучающую поверхность антенны падает плоская электромагнитная волна, размеры антенны значительно больше длины волны, а поверхность – идеально проводящая. При этом неравномерная часть тока на клине имеет характер краевой волны, которая быстро убывает с удалением от ребра и, следовательно, сосредоточена, в основном, на ребре.

Электромагнитное поле, формируемое неравномерной частью тока, возбужденного плоской волной на ребре бесконечного клина или крае полуплоскости (рис. 2), в соответствии с исследованиями, которые провели П. Я. Уфимцев и А. Михаэли, может быть описано с использованием выражения [2, 10, 11].

$$\boldsymbol{E}_{pj} = \boldsymbol{E}_0\, F_0(\varphi_M, \theta_M)\ \frac{exp\ [i\ k_s\ (R_i\ +\ R_s)}{R_i\ R_s}\ \left(\dot{\boldsymbol{T}} \cdot \boldsymbol{e}_s\right)$$
$$L\ \frac{sin\ (\Psi)}{\Psi}\ exp(-i\ \Psi), \quad (11)$$

где $\boldsymbol{E}_{pi}$ – этом электрическая составляющая электромагнитного поля, формируемого элементарным ребром,

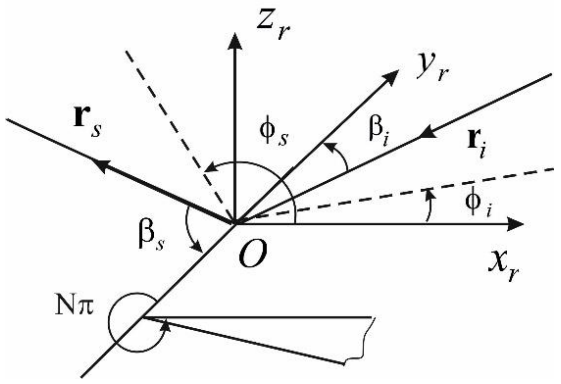


Рисунок 2 – Модель рассеяния волны на кромке антенны

являющимся фрагментом внешней кромки излучающей поверхности антенны; $\boldsymbol{E}_0$ – напряженность электрического поля в точке F расположения фокуса излучателя электромагнитных волн; $F_0(\varphi_M, \theta_M)$ – функция, описывающая ДН излучателя; φ_M, θ_M – углы наблюдения точки M отражения волны из точки F в горизонтальной и вертикальной плоскостях, соответственно, относительно оси его излучения; R_i, R_s – расстояния от фазового центра излучателядо точки M рассеяния падающей волны и от точки рассеяния M до точки наблюдения p соответственно; $\Psi = 0{,}5\ k_s q_y$; $k_s = 2\pi/\lambda$; q_y – проекция вектора $\boldsymbol{q}$ на ось y_r локальной системы координат $Ox_r y_r z_r$; $\boldsymbol{q} = \boldsymbol{r}_s - \boldsymbol{r}_{i0}$; $\boldsymbol{r}_{i0}$ – единичный вектор в направлении зеркально отраженного луча падающей

волны; L – длина элементарного ребра, принадлежащего внешней кромке антенны; $\dot{\boldsymbol{T}} = (\boldsymbol{h}_i \cdot \boldsymbol{t})\,[\boldsymbol{r}_s \times \boldsymbol{t}]\,G$; $\boldsymbol{t} = (0,1,0)$– единичный вектор, совпадающий с осью y_r; G – коэффициент дифракции магнитной компоненты падающей электромагнитной волны; $\boldsymbol{e}_s$ – вектор поляризации волны отраженной в направлении точки наблюдения p.

Наиболее корректным считается выражение G в форме А. Михаэли, которое для освещенной грани эквивалентного клина в случае наблюдения в передней полуплоскости имеет вид [10, 11]

$$G = H^i_{y0}\,\frac{2\,i\,Z\,(1/N)}{k_s\,\sin\,\beta_s\,\sin\,\beta_i}\left\{\frac{\sin\,\varphi_s}{\sin\,\alpha_1}\cdot\frac{\sin\,[(\pi-\alpha_1)/N]}{\cos[(\pi-\alpha_1)/N]-\cos(\phi_i/N)}\right\}, \quad (12)$$

где H^i_{y0} – проекция магнитной составляющей падающего электромагнитного поля на ось y_r локальной системы координат$Ox_ry_rz_r$; Z – характеристическое сопротивление окружающей среды (для свободного пространства $Z = Z_0 = 120\pi$ Ом); $\beta_i = arccos(-\boldsymbol{r}_i\,\boldsymbol{t})$, $\beta_s = arccos(-\boldsymbol{t}\,\boldsymbol{r}_s)$ – углы между направляющими векторами волн падающих на центр ребра, рассеянных в направлении точки наблюдения и осью y_r соответственно; ϕ_i и ϕ_s – углы между проекциями векторов $\boldsymbol{r}_i$ и $\boldsymbol{r}_s$ на фрагмент поверхности и осью x_r соответственно; $N = 2$; $\alpha_1 = arccos\,(\mu_1)$; $\mu_1 = \sin\,\beta_s\,\cos\,\phi_s\,/\,\sin\,\beta_i$.

Полученные выражения (11) и (12) позволяют получить сферические компоненты $E_{\varphi\,j}$ и $E_{\theta\,j}$ поля $\boldsymbol{E}_{pj}$ каждого краевого ребра излучающей поверхности и в результате их суперпозиции с учетом векторного характера оценить вклад кромки излучающей поверхности в общее излучение микроволновой антенны.

Проеденные расчеты подтвердили адекватность предложенной математической модели излучения кромки микроволновой антенны и высокую точность расчета ДН антенн в сантиметровом диапазоне волн с использованием рассмотренных формул [9, 12, 13].

Заключение

Таким образом, представление кромки излучающей поверхности микроволновой антенны в виде сложного излучателя позволяет представить его поле в точке наблюдения как суперпозицию полей элементарных фрагментов (ребер), формирующих кромку. Такое представление дает возможность оценить вклад излучения кромки в общее поле излучения и оценить влияние излучения кромки на диаграмму направленности микроволновой антенны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борзов, А.Б. Методы цифрового моделирования радиолокационных характеристик сложных объектов на фоне природных и антропогенных образований/ А.Б. Борзов, А.В. Соколов, В.Б. Сучков// Журнал радиоэлектроники: электронный журнал РАН. – 2000. – №3. – С. 1-9. URL: http://jre.cplire.ru/win/mar00/3/text.html (дата обращения: 05.03.2020).

2. Уфимцев, П.Я. Метод краевых волн в физической теории дифракции/ П.Я. Уфимцев. – М.: Сов. радио, 1962. – 244 с.

3. Боровиков, В.А. Геометрическая теория дифракции/ В.А. Боровиков, Б.Е. Кинбер. – М.: Связь, 1978. – 248 с.

4. Сазонов, Д.М. Антенны и устройства СВЧ/ Д.М. Сазонов. – М.: Высш. шк., 1988. – 432 с.

5. Ямпольский, В.Г. Антенны и ЭМС/ В.Г. Ямпольский, О.П. Фролов. – М.: Радио и связь, 1983. – 272 с.

6. Марков, Г.Т. Математические методы прикладной электродинамики/ Г.Т. Марков, Е.Н. Васильев. – М.: Сов. радио, 1970. – 120 с.

7. Никольский, В.В. Электродинамика и распространение радиоволн/ В.В. Никольский, Т.И. Никольская. – М.: Наука, 1989. – 544 с.

8. Семенов, А.А. Теория электромагнитных волн/ А.А. Семенов. – М.: Изд-во МГУ, 1968. – 320 с.

9. Якимов, А.Н. Дискретное представление – основа моделирования антенн сложной конфигурации/ А.Н. Якимов, Э.В. Лапшин, Н.К. Юрков. – Известия Самарского научного центра РАН. – Т. 16. – № 4(2). – С. 454-458.

10. Michaeli, A. Equivalent Edge Currents for Arbitrary Aspects of Observation/ A. Michaeli // IEEE Trans. on Antennas and Propagat. – 1984. – Vol. AP-32. – No. 3. – P. 252-258.

11. Якимов, А.Н. Цифровое моделирование излучения микроволновой антенны с учетом краевых эффектов/ А.Н. Якимов // Метрология. – 2002. – №11. – С. 32 – 38.

12. Якимов, А.Н. Дискретное представление излучения параболической антенны в MATLAB / А.Н. Якимов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 54-56.

13. Якимов, А.Н. Обобщенная математическая модель излучения микроволновой антенны при внешних воздействиях/ А.Н. Якимов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 1. – С. 96-100.

УДК 004

Громов Ю.Ю., Минин Ю.В., Копылов С.А., Высоцкий А.В.

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ДРЕВОВИДНОЙ СТРУКТУРОЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Приведена постановка нечеткой задачи распределения ресурсов в информационных системах со структурой дерево. Полученная оптимизационная задача характеризуется наличием нечетких параметров, представленных в виде чисел L-R типа. Для решения задач предложен алгоритм, основанный на решении подзадач, на которые разбита основная оптимизационная задача, с последующим их объединением в единое решение, основанный на применении классического метода множителей Лагранжа.

Ключевые слова:

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, СТРУКТУРА, УЗЕЛ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

Массовое использование информационных систем (ИС) требует повышения их производительности, живучести и безопасности [1-3]. Особенно они являются приоритетными в случае, когда ИС являются системами критического применения [4-6]. Следует отметить, что в настоящее время наблюдается постоянное увеличение сложности ИС, за счет увеличения количества узлов, из которых состоит система и усложнение их взаимосвязи друг с другом [1, 7 - 9], которую можно представить в виде из набора более простых структур, таких как «звезда», «дерево» и т.д.[10-13]

Повышение показателей качества функционирования и усложнение структуры ИС приводит к увеличению стоимости их синтеза, поэтому разработка задач поиска оптимальной структуры и ее параметров является актуальной научно-практической задачей.

Для получения оптимального распределения узлов в ИС с типовой структурой «дерево» сформулирована следующая задача:

$$\sum C_{ij}X_{ij} \to \min, \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum X_{ij} = 1, \ \forall i \in I, \quad (2)$$

$$\tilde{f}_{ijk} \le \tilde{d}X_{jk}, \ \forall i \in I, \ \forall j \in I, \ \forall k \in I \cup C \quad (3)$$

$$\sum \tilde{f}_{ijk} \le (\tilde{K} - \tilde{d}) X_{jk}, \ \forall j, \tilde{k} \in I, \quad (4)$$

$$\sum \tilde{f}_{ijk} \le \tilde{K} X_{jk}, \ \forall j \in I, \quad k = \mathrm{C}, \quad (5)$$

$$\sum_{j \in I \cup C} \tilde{f}_{ikj} - \sum_{j \in I} \tilde{f}_{ijk} = \begin{cases} \tilde{d}, & \forall i, k \in I, k = i \\ 0, & \forall k \ne i, \ k \in I, i \in I \\ -\tilde{d}, & \forall i \in I, k = c \end{cases} \quad (6)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, X_{ij} =$$

$$= \begin{cases} 1, \text{ если между узлами i и j есть связь,} \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases}$$

$$\forall i \in I, j \in I \cup \mathrm{C} \quad (7)$$

$$\tilde{f}_{ijk} \ge 0, \ \forall i \in I, \ j \in I, \ k \in I \cup \mathrm{C}. \quad (8)$$

где I – множество индексов местоположений конечных узлов; C –центральный узел ИС; $\tilde{d}$– нечеткое значение объема трафика каждого конечного узла ИС; $\tilde{K}$– мощность линии связи между двумя конечными узлами ИС; C_{ji} – стоимость подключения узла i к узлу j в ИС; $X_{ij} = 1$, если связь существует между узлами i и j, $i \in I$, $j \in I \cup \mathrm{C}$; в противном случае $X_{ij} = 0$; $\tilde{f}_{ij}$– нечеткое значение объема информационного потока из узла i на узел(j,k), $j \in I$, $\mathrm{k} \in I \cup \mathrm{C}$.

Значения параметров $\tilde{d}, \tilde{K}, \tilde{f}_{ij}$ представлены нечеткими числами LR-типа

$$\tilde{d} = \{d, \mu_{\tilde{d}}(d)\}, \mu_{\tilde{d}}(d) = \begin{cases} L(\frac{d_0 - d}{d^L}) \\ R(\frac{d - d_0}{d^R}) \end{cases},$$

$$\tilde{d} = < d_0, d^L, d^R >,$$

$$\tilde{K} = \{K, \mu_{\tilde{K}}(K)\}, \mu_{\tilde{K}}(K) = \begin{cases} L(\frac{K_0 - K}{K^L}) \\ R(\frac{K - K_0}{K^R}) \end{cases},$$

$$\tilde{K} = < K_0, K^L, K^R >$$

$$\widetilde{f_{ij}} = \left\{ f_{ij}, \mu_{\widetilde{f_{ij}}}(f_{ij}) \right\}, \mu_{\widetilde{f_{ij}}}(f_{ij}) = \begin{cases} L(\frac{f_{ij_0} - f_{ij}}{{f_{ij}}^L}) \\ R(\frac{f_{ij} - f_{ij_0}}{{f_{ij}}^R}) \end{cases},$$

$\widetilde{f_{ij}} = < {f_{ij}}_0, {f_{ij}}^L, {f_{ij}}^R >$где $\mu_{\tilde{d}}(d)$, $\mu_{\tilde{K}}(K)$, $\mu_{\widetilde{f_{ij}}}(\widetilde{f_{ij}})$ – функции принадлежности; d_0, K_0, ${f_{ij}}_0$ – моды; d^L, d^R, K^L, K^R, ${f_{ij}}^L, {f_{ij}}^R$ – левый и правый интервал нечеткости нечетких чисел $\tilde{d}, \tilde{K}, \tilde{f}_{ij}$ соответсвеннно.

Ограничение (2) выделяет только одну исходящую дугу для каждого узла ИС. Ограничение (3) предназначено, для указания, что поток между двумя узлами ИС существует, то есть имеется в наличии связь. Ограничения (4) и (5) непосредственно касаются мощности. Сохранение потока отражает ограничение (6). Наборы ограничений (7) и (8) обеспечивают целостность и неотрицательность переменных.

Ограничение (2) выделяет только одну исходящую дугу для каждого узла ИС. Ограничение (3) предназначено, для указания, что поток между двумя узлами ИС существует, т.е. имеется в наличии связь. Ограничения (4) и (5) непосредственно касаются мощности. Сохранение потока отражает ограничение (6). Наборы ограничений (7) и (8) обеспечивают целостность и неотрицательность переменных.

Для решения поставленной задачи используем классический метод множителей Лагранжа, как это показано в работах [14] с учетом того, что ряд значений являются нечеткими числами LR-типа из чего следует, что поставленная задача (1)-(8) преобразуется в две задачи для левого и правого интервала нечеткости. Пусть z={L,R}. Введем неотрицательные множители Лагранжа a^1, a^2, a^3, a^4. Тогда задача (1)-(8) представляется в виде двух задач

$$\sum\sum C_{ij} X_{ij} + \sum\sum\sum a^2_{ijk} \left\{ {f^z}_{ijk} - d^z X_{jk} \right\} +$$

$$+ \sum\sum a^4_{jk} \left\{ \frac{\sum {f^z}_{ijk} -}{(K^z - d^z) X_{jk}} \right\} + \sum a^1_j \left\{ \sum {f^z}_{ijc} - K^z X_{jc} \right\} \to \min \quad (9)$$

с ограничениями (2), (6), (7), (9) и

$$\mathrm{a}^2_{\mathrm{ijk}} \ge 0, \ \forall, \ \mathrm{j} \in \mathrm{I}, \ k \in I \cup \mathrm{C}, \quad (10)$$

$$\mathrm{a}^4_{\mathrm{jk}} \ge 0, \ \forall \mathrm{j}, \mathrm{k} \in \mathrm{I}, \quad (11)$$

$$a^1_j \ge 0, \ \forall j \in I. \quad (12)$$

Каждая из задача Лагранжа (10), (12), (6), (7), (2.59), (11)-(13) декомпозирована на две подзадачи.

Подзадача 1:

$$\sum\sum C_{ij} X_{ij} - \sum\sum\sum a^2_{ijk} d^z X_{jk} - \sum\sum a^4_{jk} (K^z - d^z) X_{jk} -$$

$$- \sum\sum a^1_{jk} K^z X_{jk} \to \min \quad (13)$$

с ограничениями (2), (9), (11)-(13).

Подзадача 2:

Для каждого $i \in I$:

$$\sum\sum a^2_{jk} {f^z}_{ijk} + \sum\sum a^4_{jk} {f^z}_{ijk} + \sum\sum a^1_{jk} {f^z}_{ijk} \to \min \quad (14)$$

с ограничениями (6), (11)-(13).

Подзадача 2:

Для каждого $i \in \mathrm{I}$:(15)

$$\sum_{j \in W} \sum_{k \in W \cup C} a_{2ijk} {f^z}_{ijk} + \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4ijk} \tilde{f}_{ijk} +$$

$$\sum_{j \in I} \sum_{k \in P \cup C} a_{1jk} \tilde{f}_{ijk} \to min$$

с ограничениями (6), (11)-(13).

Обобщая решения двух подзадач: (14), (2), (9), (11) - (13); (15), (16), (11) - (13); получим решение задачи Лагранжа (10), (2), (6), (7), (9), (11) - (13).

Алгоритм решения задачи (1)-(8) на каждом интервале нечеткости для соответствующего α-уровня состоит из следующих этапов:

1. Задать счетчик итератора = 1.
2. Задать значение нижней границы и значение лучшего допустимого решения задачи (1)-(8).
3. Задать множители для задачи Лагранжа (10), (2), (6),(7), (9),(11)-(13).
4. Решить подзадачи: (14), (2), (9), (11)-(13); (15), (6), (11) - (13).
5. Получить решение задачи Лагранжа (10), (2), (6),(7), (9),(11)-(13).
6. Если результат решения задачи Лагранжа выше нижней границы, вернуться к п.2.
7. Получить допустимое решение задачи (1)-(8).
8. Если допустимое решение можно улучшить, то п.9, иначе п.10.
9. Улучшить допустимое решение.
10. Если разница между допустимым решением и нижней границей <1 % или итерационный счетчик превышает 800, то остановить поиск решения, иначе п.11.
11. Увеличить счетчик на 1. Перейти к п. 2.

Оптимальным решением первой подзадачи (14), (2), (9), (11) - (13) будет ориентированное дерево минимального охвата с корнем в центральном узле C. Результат сохранен в векторе X^*.

Оптимальным решением второй подзадачи (15), (16), (11) - (13) является кратчайший путь между определенным узлом i и центральным узлом C. Для поиска решения использован алгоритм Дейкстры для нахождения кратчайшего пути в графе [15].

Пусть (a_2^*, a_4^*, a_1^*) является оптимальным решением задачи Лагранжа (10), (2), (6), (7), (9), (11) - (13). Для получения значений близких к оптимальным значениям множителей использован алгоритм субградиентной оптимизации для получения нижних границ оптимального значения задачи.

Введены следующие параметры: $P(i)$ – определена как конечная точка направленной связи из узла I, то есть $X_{ip(i)} = 1$; D_{ik} –функция стоимости, определенная, как дополнительная стоимость удаления связи (i, $p(i)$)и добавления связи (i, k). Если дополнение к связи (i, k) приводит к циклу или нарушению мощности, тогда D_{jk}=∞.

Искомая переменная X^* используется следующим образом:

1. Задать X_j=1, при условии, что X^*_j=1.

Согласно пункту 1, наиболее вероятно, что результат не будет получен при одном или нескольких следующих условиях:

- мощность связи между конечными узлами может быть превышена: $|St(i)| > K^z - 1$, где $i \in I, St(i)$ –множество узлов поддерева с корнем i.

По этим причинам для нахождения допустимого решения разработан алгоритм нахождения допустимого решения задачи Лагранжа, который выполняется в 3 этапа:

Этап I:

Пока $O = \{i \mid i \in I, |St(i)| > K^z\} \neq \phi$ делать
{
$u^* = argmin \{|St(u)|\}$
$u \in I \cap O$
$(r^*,q^*) = argmin\{Drq\}$
$r \in St(u^*)$, $q \in I \cup C$
$q \notin St(u^*)$
$X_{r^*q^*} = 0$, $X_{r^*p(r^*)} = 1$
$St(u^*) = St(u^*) - \{r^*\}$ }
Этап II:
Использовать жадный алгоритм замены ветвей для локальной оптимизации.
Этап III:
1. Найти $i^* = argmin\ R = C_{p(i)i} + C_{jp(j)} - \{C_{p(j)j} + C_{ji}\}$, $i \in I$
2. Если $R > 0.0$ тогда
$X_{p(j)i} = 0$, $X_{jp(j)} = 0$
$X_{p(j)j} = 1$, $X_{ji} = 1$
Перейти к пункту 1.
3.Закончить

Результаты вычислительных экспериментов распределения узлов в ИС, указывают на то, что применение разработанного подхода дает отклонение около 10-12% от нижней границы, что является допустимым отклонением в условиях сложности данной задачи. Отклонение уменьшается вследствие уменьшения мощности соединения. Соответствие полученных в данной работе результатов решения задач размещения узлов с результатами работ [13], указывает на правильность разработанных алгоритмов решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ и синтез модульных сетевых информационных систем в интересах повышения эффективности целенаправленных процессов / Алексеев В. В., Громов Ю. Ю., Яковлев А. В., Старожилов О. Г. - Тамбов [и др.] : Нобелистика, 2012. - 130 с.
2. Синтез и анализ живучести сетевых систем / Ю. Ю. Громов, В. О. Драчев, К. А. Набатов, О. Г. Иванова. - Москва : Машиностроение-1, 2007. – 150 с.
3. Моделирование и управление сложными техническими системами / Ю.Ю. Громов, А.П. Денисов, В.Г. Матвейкин ; Тамб. гос. техн. ун-т. - Тамбов : ТГТУ, 2000. - 291 с.
4. Лившиц И.И. Оценка современных условия обеспечения безопасности сложных промышленных объектов / И.И. Лившиц, А.В. Неклюдов, А.Т. Танатарова // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2018. – № 2. – С. 5-14.
5. Федеральный закон "О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации" от 26.07.2017 N 187-ФЗ
6. Самыгин С.И., Верещагина А.В., Кузнецова А.В. Обеспечение информационной безопасности военно-инженерных войск // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2015. №10-2.
7. Ауад М. Модель распределения ресурсов в сетевых информационных структурах / Ауад М., Минин Ю.В., Громов Ю.Ю. // Вестник Воронежского института МВД России. 2013. № 4. С. 215-220
8. Набатов К.А., Минин Ю.В., Коршиков С.Н., Лыонг Х.Д. К вопросу о моделировании процесса распределения ресурсов в информационных системах / Информация и безопасность. 2012. Т. 15. №4. С. 461-470.
9. Ауад, М.С. Оптимизационные задачи выбора и распределения ресурсов в информационных системах / М.С. Ауад, В.В. Борщ, А.В. Лазаренко, Ю.В. Минин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2014. - 1. - С.43-46.
10. Гречушкина, А.Ю. Задача поиска параметров структуры типа «звезда-дерево» сетевой информационной системы при условии применения идентичных концентраторов / М. Ауад, С.В. Зайцев, С.А. Копылов, А.Ю. Гречушкина, Ю.В. Минин // Современные информационные технологии. – Пенза: Изд-во ФГБОУ ВПО «ПГТА». – 2013. – № 19 (19). – С. 7-12.
11. Соловьев Д.С., Зайцев С.В., Ауад М., Гречушкина А.Ю., Минин Ю.В. Определение оптимальных параметров структуры типа "звезда-дерево" сетевой информационной системы // Современные информационные технологии. 2014. № 19. С. 11-15.
12. Ауад М., Овчинников Н.А., Моисеев А.С., Гречушкина А.Ю., Минин Ю.В. Определение параметров структуры сетевой информационной системы с многопунктовыми линиями связи // Современные информационные технологии. 2014. № 19. С. 19-23.
13. Минин Ю.В., Елисеев А.И., Саид Б.М.Г., Минина Е.Н. Размещение узлов сетевой информационной системы с топологией "дерево" // Информация и безопасность. 2015. Т. 18. № 1. С. 131-134.
14. Y. Gromov, Y. Minin, S. Kopylov, A. A. Habib Alrammahi and F. A. Sari, "Synthesis of the Information System Structure in Conditions of Uncertainty," 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), Lipetsk, Russia, 2019, pp. 401-406.
15. Dijkstra, E. W. A Note on Two Problems in Connection with Graphs, / E. W. Dljkstra // Numerical Mathematics. - 1959. – V. l – P.269-271.

УДК 681.3

Уланов А.О.
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В статье рассматриваются методы и возможности применения теории надежности для оценки надежности информационной системы в условиях негативных внешних воздействиях. Были проанализированы показатели надежности информационной системы (безотказность, ремонтопригодность, долговечность, сохраняемость). Проводится сравнительная оценка вероятностного подхода к оценке надежности и теории нечетких множеств, анализируются их основные свойства, а так же возможность применения на практике. Рассматриваются внешние негативные внешние воздействия (компьютерные вирусы, вредоносные программы, стихийные бедствия), и внутренние, такие как: ошибки пользователей и системных администраторов, ошибки в работе программного обеспечения, отказы и сбои в работе компьютерного оборудования. Проводится классификация их основных источников возникновения, рассмотрены и предложены мероприятия по их предупреждению, выявлению и предотвращению.

Ключевые слова:
НАДЕЖНОСТЬ, ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ, НЕЧЕТКАЯ ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ.

Несмотря на интенсивное развитие средств обнаружения угроз безопасности функционирования компьютерных сетей, задача обеспечения надежности функционирования информационных систем (ИС) до сих пор стоит очень остро. Данное обстоятельство связано с влиянием на систему негативных внешних воздействий (НВВ) различной природы; ростом объемов данных, хранящихся и обрабатываемых в системе; возможными ограничениями аппаратных средств, выделяемых на создание и развертывание ИС; ограничениями пропускной способности каналов передачи данных и других характеристик сети. Поэтому решение задач надежного и бесперебойного функционирования ИС является основой для эффективного развития производства, сферы финансового и государственного управления, развития бизнеса и оказания услуг, а также других граней жизнедеятельности человека.

Для реализации мероприятий по обеспечению надежности функционирования информационных систем необходимо учитывать, что каждая ИС имеет свои характерные особенности. Современное понятие ИС имеет достаточно широкую трактовку. В соответствии с Федеральным законом РФ от 27.06.2016г. №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» информационная система – «совокупность содержащейся в базах данных информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий и технических средств» [1]. Международный стандарт ISO/IEC 2382:2015 трактует понятие ИС как системы об работки информации, работающей совместно с организационными ресурсами, такими как люди, технические средства и финансовые ресурсы, которые обеспечивают и распределяют информацию [2]. Российский ГОСТ Р 50.1.056-2005 понимает под информационной системой автоматизированную систему, результатом функционирования которой является представление выходной информации для последующего использования [3]. Таким образом, процесс эффективного функционирования ИС зависит от вида и количества компонентов, составляющих ИС (технических, программных, эргатических и др.), а также от условий эксплуатации, в которых данная ИС функционирует.

Согласно ГОСТ 24.701-86под надежностью ИС, как автоматизированной системы управления, понимается «Свойство системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способности системы выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях эксплуатации» [4].

Современная теория надежности сложных систем располагает широким арсеналом моделей, построенных на базе вероятностной теории.

В соответствии с определением надежность является сложным свойством. Именно благодаря надежности система выполняет определенные функции в течении некоторого срока с заданным качеством. Основными показателями являются: безотказность, ремонтопригодность, долговечность и сохраняемость [5, 6].

Вероятность безотказной работы – вероятность того, что время работы объекта до отказа окажется большего или равно заданному времени t:

$$P(t) = P(\varsigma \geq t) = 1 - F(t), \quad (1)$$

где ς – случайное время работы до отказа или наработка на отказ,

$F(t) = P(\varsigma < t)$ – интегральная функция распределения случайной величины $\varsigma\,(\varsigma < t)$.

Средняя наработка до отказа:

$$T_{\text{ср}} = M_1 = \int_0^\infty tf(t)dt = -\int_0^\infty tdP(t), \quad (2)$$

где $T_{\text{ср}}$ – математическое ожидание времени работы до первого отказа.

Интенсивность отказов – отношение плотности вероятности к вероятности безотказной работы:

$$\lambda = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{dP(t)}{P(t)dt} = \frac{a(t)}{P(t)}, \quad (3)$$

где $a(t)$ – частота отказов.

Вероятность восстановления – вероятность того, что отказавший объект будет восстановлен в течение заданного времени t:

$$Q_{\text{в}}(t) = G(t), \quad (4)$$

где $G(t)$ – функция распределения времени восстановления.

Среднее время восстановления:

$$\widehat{T}_{\text{в}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\tau_i, \quad (5)$$

где τ_i – время восстановления i-го отказа.

Средний ресурс – математическое ожидание ресурса:

$$R_{\text{СР}} = \int_0^\infty rf(r)dt, \quad (6)$$

где r – ресурс информационной системы;

$f(r)$ – плотности вероятности величины r.

Средний срок службы:

$$T_{\text{ср.сл}} = \int_0^\infty t_{\text{сл}\,i} f(t_{\text{сл}})dt, \quad (7)$$

где $t_{\text{сл}\,i}$- срок службы i-ой информационной системы;

$t_{\text{сл}}$ – плотность распределения срок службы.

Гамма-процентный срок службы – срок службы, в течение которого информационная система не достигает предельного состояния с заданной вероятностью:

$$T_{\text{ср}.\gamma} = -\frac{1}{\lambda}\ln\frac{\gamma}{100}, \quad (8)$$

Средний срок сохраняемости:

$$T_{\text{сохр.ср}} = \int_0^\infty t_{\text{сохр}\,i} f\left(t_{\text{сохр}}\right)dt, \quad (9)$$

где $t_{\text{сохр}\,i}$ – сохраняемость i-ой информационной системы;

$f\left(t_{\text{сохр}}\right)$ – плотность распределения величины $t_{\text{сохр}}$.

Коэффициент готовности – вероятность того, что в момент времени объект работоспособен:

$$K_{\Gamma}(t) = \sum_{i\in S_P} P_i(t), \quad (10)$$

где S_P – множество работоспособных состояний объекта ($S_P \in S, S$ – множество всех состояний объекта);

$P_i(t)$ – вероятность пребывания объекта в момент времени t в работоспособном состоянии i.

Коэффициент неготовности – вероятность того, что объект неработоспособен (находится на обслуживании) в произвольный достаточно удаленный от начала отсчета момент времени:

$$K_{\text{НГ}} = 1 - K_{\Gamma}, \quad (11)$$

Коэффициент оперативной готовности – вероятность того, что объект работоспособен в произвольный достаточно удаленный от начала отсчета момента времени и проработает безотказно в течение времени решения задачи τ_3:

$$K_{\text{ОГ}}(\tau_3) = \lim_{t\to\infty} K_{\text{ОГ}}(t,\tau_3) = \frac{1}{T_0+T_{\text{ПР}}}\int_{\tau_3}^{\infty} P_1(t)dt, \quad (12)$$

где T_0– начальный момент времени;

$T_{\text{ПР}}$ – произвольный момент времени.

Коэффициент технического использования:

$$\text{К}_{\text{ТИ}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{\sum_{i-1}^{n} t_i + \sum_{i=1}^{m}\tau_i + \sum_{j=1}^{k}\tau_j}, \quad (13)$$

где $\sum_{i=1}^{n} t_i$ – суммарная наработка всех объектов;

$\sum_{i=1}^{m}\tau_i$– суммарное время простоев из-за плановых и внеплановых ремонтов всех объектов;

$\sum_{j=1}^{k}\tau_j$ – суммарное время простоев из-за плановых и внеплановых технических обслуживаний всех объектов.

Применение вероятностных моделей на практике вызывает затруднение, основными причинами которого являются:

– поиск исходных данных для проведения расчетов, многие из которых доступны лишь производителю оборудования и в паспортных характеристиках на указываются;

– с течением времени в процессе эксплуатации исходные характеристики оборудования утрачивают свое первоначальное значение;

– неполнота исходных данных, которые учитывали бы реальные условия функционирования системы.

Действительно, установить в каких условиях будет функционировать ИС задача труднодостижимая, а создание базы данных о надежности операций или элементов системы с учетом всех возможных условий их эксплуатации и вовсе невыполнимая. Поэтому полученные результаты экспериментов зачастую не соответствуют опыту эксплуатации в реальных условиях, когда система функционирует в условиях неопределенности. Таким образом, в строгих и достаточно сложных моделях вероятностной (классической) теории надежности зачастую используются далекие от реальности исходные данные, что в свою очередь негативно сказывается на объективности полученного результата.

Учитывая необходимость защиты ИС, их сложность и многокомпонентность, факторы неопределенности их функционирования возникает потребность в разработке новых подходов к оценке надежности функционирования современных ИС. В последние годы возник интерес к анализу надежности с помощью «нечеткой теории надежности», которая кроме традиционного вероятностного аппарата использует теорию нечетких множеств, хорошо приспособленную к учету лингвистической экспертной информации на базе естественно-языковых высказываний. Нечеткая теория надежности позволяет принимать решения оперируя значениями

типа «очень высокая вероятность правильного выполнения» или «вероятность правильного выполнения операции находиться в диапазоне 0.9-0.99» [7]; «если техника обслуживается правильно и условия ее эксплуатации хорошие, то надежность высокая», или «если человек утомлен, то количество ошибок при выполнении операций увеличивается приблизительно вдвое» и т.д. Особенности математического аппарата теории нечетких множеств позволяет, с одной стороны, использовать имеющуюся неформализованную информацию для настройки модели при отсутствии обучающей выборки, а с другой стороны, без усложнения структуры модели учитывать нелинейный характер влияния различных факторов в задачах анализа надежности информационных систем. При создании нечеткой модели надежности для каждой подсистемы ИС необходимо определит лингвистические переменные, определит их функции принадлежности и создать базу нечетких решающих правил. Таким образом процесс оценки надежности функционирования и защиты ИС становится возможным на основе использования неопределенной исходной информации.

Опираясь на опыт применения теории нечетких множеств при оценке надежности человеко-машинных систем и алгоритмических процессов, сформулируем ряд методологических принципов, которые будут использоваться в дальнейшем.

Принцип описания АП на языке алгоритмических алгебр. В соответствии с этим принципом структуру любого АП, т.е. логико-временную последовательность действий, можно описать с помощью системы алгоритмических алгебр Глушкова:

$$A = <U, B, \Omega_1, \Omega_2>, \qquad (14)$$

где U={A, B, C, …} – множество операторов, которые принято обозначать большими латинскими буквами с индексами или без них;

B = {α, β, γ, …} – множество логических условий, которые принято обозначать малыми греческими буквами с индексами или без них;

Ω_1 – множество операций, порождающие логические условия из множества B;

Ω_2 – множество операций, порождающие операторы из множества U.

Оператор A – это отображение информационного множества M в себя, т.е. преобразование вида M′ = A(M), где M и M′ – состояние системы до и после выполнения оператора A.

Условие α – это отображение текущего состояния системы в двухэлементное множество {1, 0}, где 1 – истина; 0 – ложь.

К операциям из множества Ω1, порождающим условия, относятся булевые операции дизъюнкции (α1∨α2), конъюнкции (α1·α2) и отрицания ($\overline{\alpha}$).

К операциям из множества Ω2, порождающим операторы, относятся:

- композиция A1A2 – бинарная операция на множестве Ω2, порождающая оператор B = A1A2, который заключается в последовательном применении операторов $A_1 \in U$и $A_2 \in U$ в порядке записи, причем $B \in U$,

- операция α-дизъюнкция (A1∨A2) – тернарная операция над условием $\alpha \in B$ и операторами $A_1 \in U$и $A_2 \in U$, порождающая такой оператор $C = (A_1 \vee A_2)$, что

$$C = \begin{cases} A_1, \text{ если } \alpha = 1 \\ A_2, \text{ если } \alpha = 0; \end{cases} \qquad (15)$$

- операция α-итерации $\{A\}$ – бинарная операция над условием $\alpha \in B$ и оператором $A \in U$, порождающая оператор $D = \{A\}$, который состоит в циклическом применении оператора A (при ложном α) до тех пор, пока условие α не станет истинным.

Для описания циклически повторяющихся участков АП кроме α-итерации можно использовать вспомогательную операцию. Называемую обратная α-итерации $\left[\{A\}\right]$. Она связана с α-итерацией соотношением $\{A\} = A\{A\}$.

Принцип перехода от алгоритмического к вероятностному описанию. Согласно этому принципу. На основе алгоритмического описания строятся вероятностные модели, позволяющие оценивать надежность АП по известным характеристикам надежности операторов и логический условий. Формальность перехода от алгоритма к его вероятностному аналогу обеспечивает возможность решения задач надежностного проектирования АП на уровне преобразования исходного алгоритмического описания.

Принцип типовых алгоритмических структур. Этот принцип позволяет реализовать процедуру оценки надежности АП по следующей методике:

- выделение часто встречающихся комбинаций операторов и логических условий в так называемые типовые структуры;

- получение математических моделей, заменяющих типовую структуру единственным рабочим оператором с эквивалентными характеристиками;

- укрупнение исходного АП до единственного оператора за счет последовательного применения типовых структур.

4. Принцип представления неопределенных исходных данных в виде нечетких чисел. Согласно этому принципу исходные данные о параметре q представляются в виде

$$\tilde{q} = \left\langle \underline{q},\ \overline{q},\ l \right\rangle \qquad (16)$$

где $\underline{q}$ ($\overline{q}$) – нижняя (верхняя) граница параметра q;

l – лингвистическая экспертная оценка параметра q в диапазоне $\left[\underline{q},\ \overline{q}\right]$, определяемая с помощью термов «низкий», «средний», «высокий» и др.

Принцип учета влияющих факторов с помощью нечетких высказываний. Согласно этому принципу, влияние факторов на характеристики элементов АП учитывается с использованием процедуры нечеткого логического вывода. Нечеткий логический вывод, опирающийся на экспертную базу знаний, позволяет прогнозировать характеристики надежности в любой точке факторного пространства, координаты которой могут задаваться на естественном языке. База знаний представляет собой совокупность нечетких логических высказываний типа:

Если

$x_1 = l_{x_1}$ и $x_2 = l_{x_2}$ и … и $x_n = l_{x_n}$, то

Y=1, $\qquad (17)$

где x_i – влияющие факторы;

l_{x_i} – лингвистическая оценка x_i $(i = \overline{1,n})$;

Y – характеристика надежности элемента АП;

l – лингвистическая оценка характеристики Y.

Особенностью нечеткого логического вывода является то, что общее количество правил-знаний типа (17), необходимых для адекватного прогнозирования, значительно меньше полного перебора.

Принцип обобщения вероятностно-алгоритмических моделей на случай нечетких исходных данных. Согласно этому принципу вероятностно-алгоритмические модели надежности могут быть обобщены таким образом, чтобы в качестве исходных данных использовались нечеткие числа. Это позволяет, с одной стороны, применять ранее разработанные вероятностные модели, с другой, - использовать исходные данные в виде экспертных оценок. Принцип обобщения является своего рода «мостиком», объединяющим традиционные модели надежности с экспертными оценками и естественно-языковыми высказываниями [7].

Развитие информационных систем и технологий ставит современное общество в зависимость от уровня надежности их функционирования, в связи с этим важнейшее значение приобрели задачи защиты их от негативных воздействий, угрожающих информационной безопасности.

Под угрозой информационной безопасности понимают «совокупность условий и факторов, создающих потенциальную опасность нарушения безопасности информации» [8], которые могут стать причиной нарушения целостности, доступности и конфиденциальности хранящейся, передаваемой или обрабатываемой информации. Исходя из этого определения, угроза безопасности информационных систем (ИС) – это потенциальная или реально суще-

ствующая опасность, которая посредством воздействия на информацию или другие компоненты информационных систем может прямо или косвенно привести к ущербу интересам субъектов информационных отношений. Анализ характера нарушений информационной безопасности показал существование большого количества угроз различного происхождения. Для создания эффективной системы защиты необходимовыявление и учет факторов, оказывающих воздействие на защищаемый объект.

По источникам возникновения угрозы можно подразделить навнешние и внутренние:

Внутренние угрозы могут проявляться в следующих формах:

– ошибки пользователей и системных администраторов;

– нарушения сотрудниками установленных регламентов сбора, обработки, передачи и уничтожения информации;

– ошибки в работе программного обеспечения;

– отказы и сбои в работе компьютерного оборудования.

Источниками таких угроз являются:

1. Сотрудники организации.

2. Программное обеспечение.

3. Аппаратные средства.

Формами проявления внешних угроз являются:

– заражение компьютеров вирусами или вредоносными программами;

– несанкционированный доступ к корпоративной информации;

– информационный мониторинг со стороны конкурентов, разведывательных и специальных служб;

– действия государственных структур и служб, сопровождающиеся сбором, модификацией, изъятием и уничтожением информации;

– аварии, пожары, техногенные катастрофы, стихийные бедствия.

К внешним источникам угроз относятся:

1. Компьютерные вирусы и вредоносные программы.

2. Организации и отдельные лица.

3. Стихийные бедствия [9].

По условиям происхождения угрозы можно классифицировать на преднамеренные (умышленные) и случайные (неумышленные).

Преднамеренный характер угроз возникает в результате злоумышленных действий людей.

Случайное происхождение угроз обусловлено спонтанными обстоятельствами, возникающими в ИС в процессе их функционирования и эксплуатации. Наиболее известными событиями такого рода являются: сбои и отказы технических средств, ошибки при разработке ИС, алгоритмические и программные ошибки, ошибки пользователей и обслуживающего персонала. Стихийные бедствия и аварии.

По способам воздействия на объекты информационной безопасности угрозы подлежат следующей классификации: информационные, программные, физические, радиоэлектронные и организационно-правовые.

К информационным угрозам относятся:

– несанкционированный доступ к информационным ресурсам;

– незаконное копирование данных в информационных системах;

– хищение информации из библиотек, архивов, банков и баз данных;

– нарушение технологии обработки информации;

– противозаконный сбор и использование информации.

К программным угрозам относятся:

– использование ошибок в программном обеспечении;

– компьютерные вирусы и вредоносные программы;

– установка «закладных» устройств.

К физическим угрозам относятся:

– уничтожение или разрушение средств обработки информации и связи;

– хищение носителей информации;

– хищение программных или аппаратных ключей и средств криптографической защиты данных;

– воздействие на персонал.

К радиоэлектронным угрозам относятся:

– внедрение электронных устройств перехвата информации в технические средства и помещения;

– перехват, расшифровка, подмена и уничтожение информации в каналах связи.

К организационно-правовым угрозам относятся:

– нарушение требований законодательства и задержка в принятии необходимых нормативно-правовых решений в информационной сфере;

– закупки несовершенных или устаревших информационных технологий и средств информатизации [10].

Предпосылки возникновения угроз носят объективный и субъективный характер:

– объективные (количественная или качественная недостаточность элементов системы), не связанные непосредственно с деятельностью людей и вызывающие случайные по характеру происхождения угрозы;

– субъективные, непосредственно связанные с деятельностью человека и вызывающие как преднамеренные (специально организуемая деятельность, профессионально ориентированная на добывание необходимой информации всеми доступными средствами, включая разведку, промышленный шпионаж; злоумышленные действия направленные на хищение информации или компьютерных программ в целях наживы; действия недобросовестных сотрудников, приводящие к хищению (копированию) или уничтожению информационных массивов и/или программ по эгоистическим или корыстным мотивам, а также в результате несоблюдения установленного порядка работы с информацией), так и непреднамеренные угрозы информации (плохое психофизиологическое состояние, недостаточная подготовка, низкий уровень знаний).

Для защиты интересов субъектов информационных отношений необходима реализация следующих мер:

– на законодательном уровне (законы, нормативные акты, стандарты и т.п.). Законодательный уровень является важнейшим для обеспечения информационной безопасности. К мерам этого уровня относится регламентация законом и нормативными актами действий с информацией и оборудованием, и наступление ответственности нарушение правильности таких действий.

– на административном уровне (действия общего характера, предпринимаемые руководством организации). Главная цель мер административного уровня– сформировать программу работ в области информационной безопасности и обеспечить ее выполнение, выделяя необходимые ресурсы и контролируя состояние дел. Основой программы является политика безопасности, отражающая подход организации к защите своих информационных активов. Руководство каждой организации должно осознать необходимость поддержания режима безопасности и выделения на эти цели значительных ресурсов.

– процедурный уровень предусматривает конкретные меры безопасности, ориентированные на людей. Меры данного уровня включают в себя: мероприятия, осуществляемые при проектировании, строительстве и оборудовании вычислительных центров и других объектов систем обработки данных;мероприятия по разработке правил доступа пользователей к ресурсам системы(разработка политики безопасности);мероприятия, осуществляемые при подборе и подготовке персонала, обслуживающего систему;организацию охраны и режима допуска к системе;организацию учета, хранения, использования и уничтожения документов и носителей информации;распределение реквизитов разграничения доступа;организацию явного и скрытого контроля за работой пользователей;мероприятия, осуществляемые при проектировании, разработке, ремонте и модификациях оборудования и программного обеспечения.

– программно-технический уровень определяет меры защиты основанные на использовании специальных программ и аппаратуры и выполняющих (самостоятельно или в комплексе с другими сред-

ствами) функции защиты: идентификацию и аутентификацию пользователей; разграничение доступа к ресурсам; регистрацию событий; криптографические преобразования; проверку целостности системы; проверку отсутствия вредоносных программ; программную защиту передаваемой информации и каналов связи; защиту системы от наличия и появления нежелательной информации; создание физических препятствий на путях проникновения нарушителей; мониторинг и сигнализацию соблюдения правильности работы системы; создание резервных копий ценной информации [8].

Вработе рассматриваются подходы к оценке надежности ИС с использованием вероятностной теории надежности и посредством аппарата теории нечетких множеств.Определены основные принципы нечеткого анализа надежности.

Проведен обзор основных угроз безопасности ИС и рассмотрены мероприятия по их предотвращению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 27.07.2006 N 149-ФЗ (ред. от 18.12.2018) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».

2. ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015)Информационные технологии (ИТ). Словарь. – Введ. 2017-09-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 25 с.

3. ГОСТ Р 50.1.056-2005. Техническая защита информации. Основные термины и определения. – Введ. 2006-06-01. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 16 с.

4. ГОСТ 24.701-86 Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения. – Взамен ГОСТ 24.701-83; введ. 1987-07-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 12 с.

5. Надежность информационных систем: учебное пособие / Ю.Ю. Громов, О.Г. Иванова, Н.Г. Мосягина, К.А. Набатов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 160 с.

6. Шубинский, И.Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа / И.Б. Шубинский. – М.: «Журнал Надежность», 2012. – 216 с.

7. Ротштейн, А.П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовба. – Винница: Континент-ПРИМ, 1997. – 142 с.

8. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения. – Введ. 2008-02-01. – М., 2008. – 8 с.

9. Гафнер, В.В. Информационная безопасность: учеб. пособие / В.В. Гафнер. – Ростов на Дону: Феникс, 2010. - 324 с.

10. Алексеев, Д.М. Классификация угроз информационной безопасности / Алексеев Д.М., Иваненко К.Н., Убирайло В.Н. // Символ науки: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2016. - №9-1(21). – С. 18 – 20.

УДК 519.65:621.3014.4

Папко А.А., Скаморин Д.А., Недопекин Н.В.

АО «Научно-исследовательский институт физических измерений», Пенза, Россия

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ВАРИАЦИЙ И ОТКЛОНЕНИЙ АЛЛАНА ДЛЯ АНАЛИЗА СЛУЧАЙНЫХ ОШИБОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ)

Точность ИНС со временем ухудшается из-за комбинации различных типов источников дрейфов – шумов, нестабильности смещения нуля, нестабильности масштабного коэффициента. Ошибки, накопленные при интегрировании инерциальных данных согласно алгоритму навигации, могут в достаточно короткое время привести к отклонению навигационного решения от «истинного» значения.

Для уменьшения роста навигационных ошибок необходима информация и моделирование ожидаемых ошибок инерциальных компонентов. Для решения поставленной цели перспективным методом определения дрейфа и шумовых характеристик является использование метода вариаций Аллана, позволяющего оценивать случайную ошибку дрейфов, как функцию времени осреднения [1-4].

Отличительной особенностью метода Аллана является обеспечение возможности классификации различных шумовых компонент по наклонам записи отклонений Аллана [2].

Процедура получения вариаций и дисперсии Аллана заключается:

1) в получении массива измерений выходного сигнала датчика определенной длительности τ, полученного путём дискретизации с определенным периодом T_0.

2) в представлении полученных данных в виде графика с осями в логарифмическом масштабе. При этом по оси абсцисс откладывается десятичный логарифм среднего времени $\tau=nT_0$, а по оси ординат десятичный логарифм отклонений Аллана в единицах измеренной угловой скорости при ее отсутствии на входе датчика (дрейф нуля). Далее по анализу наклонов различных участков кривой отклонения Аллана судят о присутствии всевозможных составляющих погрешностей инерциальных компонентов – акселерометров и гироскопов.

В зависимости от наклона кривой Аллана разделяют как минимум 5 участков с разными наклонами:

1. шум квантования Q_c наклоном минус 1dB;

2. случайное блуждание угла N или ARN_c наклоном минус 1/2dB;

3. нестабильность смещения нуля B наклоном 0dB;

4. случайное блуждание скорости K с наклоном +1dB;

5. нарастание скорости R_c наклоном +1dB;

В промежутке между наклоном минус 0,5dB и 0dB могут наблюдаться экспоненциально-коррелированный (марковский) шум q и синусоидальный шум, оказывающие незначительное влияние на общую сумму шумов [2].

Сущность метода вариаций Аллана состоит в вычислении дисперсии соседних отклонений выходного сигнала. Метод оперирует понятием групп последовательных дискретных значений случайной величины $\omega(\tau_i)$, формируемых из массива измерений n_{max}.

Указанный массив n_{max} делится на группы m_i, число которых определяется по формуле:

$$m_i = \sqrt{\frac{n_{max}}{n_i}}$$

где n_i - размер одной группы, который выбирается в интервале осреднения измеренных значений из ряда [1, 2, 2^2, 2^3, 2^4, …2^{17}].

Согласно [3] точность определения параметров случайного процесса зависит от длины записи.

Длительность интервала осреднения τ определяется по формуле:

$$\tau = \frac{n_i}{F_Д} = n_i \cdot T_Д$$

где $F_Д$, $T_Д$ – частота и период дискретизациисоответственно.

Вычисление отклонений Аллана $\sigma_A(\tau)$ проводится по формуле:

$$\sigma A(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(m_i - 1)} \sum_{1}^{m_i} [\bar{\omega}(\tau)_{m+1} - \bar{\omega}(\tau)_m]^2}$$

где $\bar{\omega}(\tau)_{m+1}$, $\bar{\omega}(\tau)_m$ - средние значения случайной величины в двух соседних группах m.

Согласно [1], [4] и практике разработки и эксплуатации инерциальных компонентов, практической значимостью отличаются дисперсии шумов N и B с размерностями °/√ч и °/ч соответственно.

На основе изложенного предлагается следующий алгоритм вычисления характеристик Аллана на основе массива полученных данных.

1. Определяется фактическое значение смещения нуля, приведенное к входу, для каждого измерения, в [^{0}/с]

$$b_{npi} = \frac{b_{\phi i}}{K_0}, \quad (1)$$

где K_0 - значения коэффициента преобразования датчика.

2. Определяется количество групп данных

$$m_i = \frac{n_{max}}{n_i}, \quad (2)$$

где n_{max} – принятое общее количество значений, измеренных за 17 мин или 1020 с. При длительности опроса $T_0=2\cdot10^{-3}$ [с], $n_{max}=510\cdot10^3$ или $5\cdot10^5$;

n_i – количество значений в интервале времени осреднения, которое выбирается из ряда:

[1, 2, 2^2, 2^3, 2^4, …, 2^{17}]. В данном случае $n_i=2^{10}=512$, $m_i=996$

3. Определяется среднее значение выходного сигнала в каждой m_i-ой группе данных по формуле

$$\overline{\omega}(\tau)_m = \sum_{i=1}^{mi} \frac{\omega_{mi}}{mi} \quad (3)$$

4. Определяется среднеквадратическое отклонение данных для каждого разбиения на m_i групп.

$$\sigma_A(\tau)_i = \sqrt{\frac{1}{2(m_i-1)} \cdot \sum_1^{m_i} [\overline{\omega}(\tau)_{m+1} - \overline{\omega}(\tau)_m]^2} \quad (4)$$

Значение случайного блуждания угла N, приведенное к входу, σ_A, определенное через 1 с после начала записи в °/√ч

$$\sigma_A(N) = 60 \cdot \sigma_A \quad (5)$$

5. Определяется значение случайного дрейфа смещения нуля B, в ^{0}/ч по минимальному значению σ_A

$$\sigma_{A(B)j} = 3600 \cdot \sigma_{Aminj} \quad (6)$$

где j = 1, 2

6. Определяется значение случайного дрейфа смещения нуля от запуска к запуску

$$\sigma_{AB} = \sigma_{AB1} - \sigma_{AB2} \quad (7)$$

На рисунке 1 представлено графическое изображение отклонения Аллана.

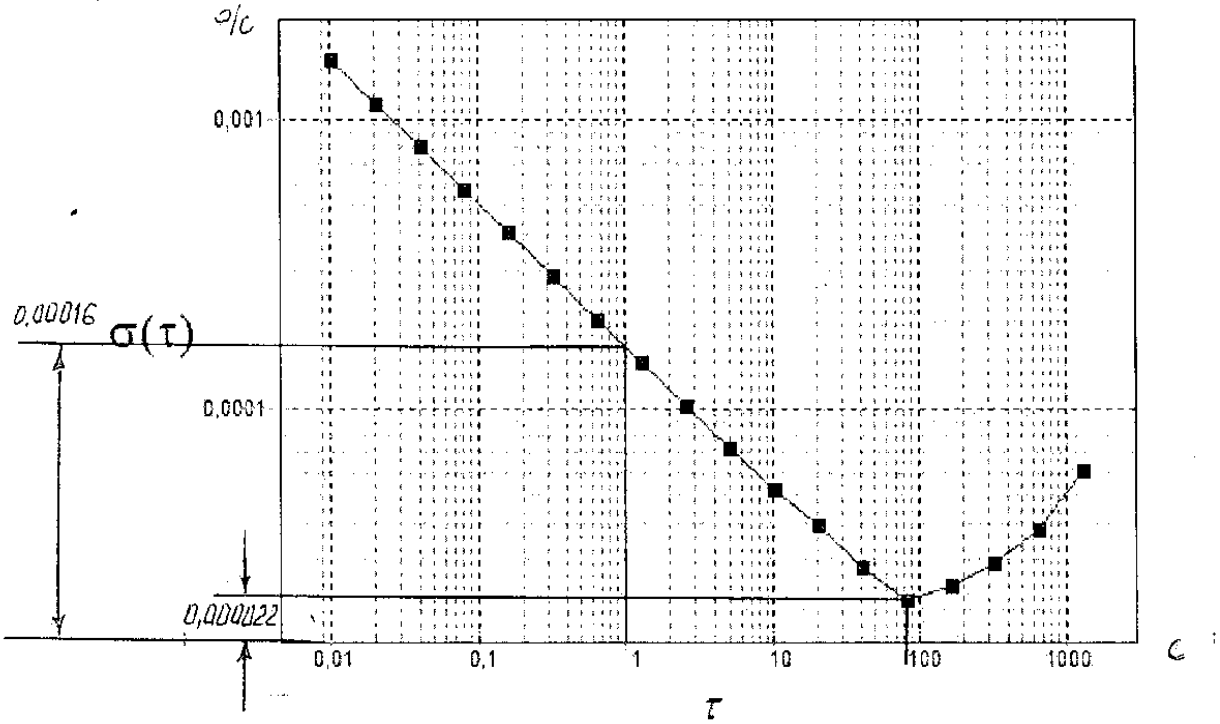


Рисунок 1 - Графическое изображение отклонений Аллана, определенное для макета ВТГ
σ_{AN}(ARW)=16·10^{-5}·60=0,0096 ^{0}/√ч σ_B=22·10^{-6}·3600=0,079 ^{0}/ч Через 100 с осреднения $\sigma_{100}=\sigma_B$=0,079 ^{0}/ч

Полученные результаты могут быть использованы при исследованиях и изготовлении инерциальных компонентов – акселерометров и гироскопов различного типа, т.к. представляют собой общую квалификационную и достоверную сравнительную оценку, независимую от типов и методов построения приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.У. Аллан. Вариации Аллана: История создания, преимущества и недостатки, основные области применения. Статья по докладу на круглом столе XXII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам, 2015г.

2. Allan D.W., Barnes J.A. modified “Allan variance” with increased oscillator characterization ability. Proc. 35 Ann. Freg. Contr. Symp., May 1981.

3. HEEE Standart Specification Format Guide and Test Procedure for Single-Axis Interferometric Fiber Optic Gyros.

4. А.В. Михеев. Разработка и применение модели шумов датчиков первичной информации при математическом моделировании работы бесплатформенной инерциальной навигационной системы. Вестник Саратовского государственного технического университета № 1(38), 2009.

5. Xin Zhang, Jong Li, Peter Mumford, Chris Rizos Allan Variance Analysis on Error Characters of MEMS Inercial Sensors for FPGA-based GPS/INS System. Университет Нового Южного Уэльса, Австралия.

6. С.Г. Кучерков, Д.И. Лычёв, А.И. Скалон, Л.А. Чертков. Использование вариации Аллана при исследовании шумовых характеристик микромеханического гироскопа. Гироскопия и навигация.

7. Siraya T.N. Comparison of Uncertainty Estimates: Allan Variance and Sample Variance // Measurement 2001, 3 International Conf. of Measurement. Smoleniee, Slovak Republic, 2001, pp24.

8. Матвеев В.В. Инерциальные навигационные системы. Тула, 2012.

УДК 004.942

Старостин И.Е.

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации», Москва, Россия

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НА БАЗЕ СКМ SCILAB МЕТОДОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ИЗ УРАВНЕНИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НЕЙ

Настоящая статья посвящена программной реализации на базе СКМ Scilab разработанной автором методологии получения математических моделей физико-химических систем различной природы из уравнений физико-химических процессов в них. Эта методология заключается в задании параметров, входящих в уравнения физико-химических процессов, расчета соответствующих динамик физико-химических процессов в рассматриваемой системе и соответственно выходных характеристик этой рассматриваемой системы, а затем аппроксимации математической модели этой системы на этом множестве возможных динамик выходных характеристик системы. В общем случае физико-химических процессов система уравнений этих процессов формируется в соответствие с разработанным ранее автором в рамках современной неравновесной термодинамики потенциально-потоковым методом. Механика моделируется методами механики, а электрические и магнитные цепи – методами теории электрических и магнитных цепей соответственно. Отсюда, программная реализация этой методологии заключается в использовании программной реализации в виде модуля Xcos, входящего в СКМ Scilab, методов механики, теории электрических и магнитных цепей, потенциально-потокового метода, а также в программной реализации в виде модулей расширения Scilab ATOMS перебора различных коэффициентов, входящих в уравнения физико-химических процессов, расчета соответствующих динамик и модуля расширения ATOMS, аппроксимирующего эти динамики. Перебор возможных значений таких коэффициентов, соответствующих возможных динамик – задача трудоемкая. Поэтому для решения этой задачи используется распараллеливание. СКМ Scilab поддерживает распараллеливание на ядрах процессора, однако перебор возможных значений коэффициентов (и соответственно возможных динамик) проводится практически независимо, а потому может быть реализован параллельно на нескольких вычислительных машинах, соединенных в вычислительную сеть. Эти реализации обмениваются между собой сообщениями. Также, используя опубликованные ранее автором методы декомпозиции физико-химической системы, расчет динамики сложной физико-химической системы распараллеливается также на нескольких машинах.

Ключевые слова:

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ, РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ

Введение

Функционирование технических объектов, осуществление технологических операций, метеорологические явления, жизнедеятельность живых организмов определяется протеканием в этих системах физико-химических процессов (ФХП). Отсюда, в частности, надежность, безопасность эксплуатации, долговечность и прочие показатели технических объектов определяются протеканием ФХП в этих объектах. Для решения практических задач, связанных с эксплуатацией этих объектов, необходимо иметь связь между выходными характеристиками рассматриваемых объектов. Такая связь получается из уравнений ФХП в рассматриваемых объектах. [1 – 4]

В общем случае эта связь из этих уравнений получается численными методами путем задания случайных значений параметров, входящих в систему уравнений ФХП, расчета соответствующих динамик этих ФХП и соответствующих выходных характеристик этой системы и дальнейшей аппроксимации на множестве возможных динамик этих выходных характеристик математической модели этого рассматриваемого технического объекта [3 – 5]. Таким образом, описанное в [1 – 5] получение математической модели рассматриваемой системы на множестве возможных динамик выходных характеристик рассматриваемой системы – процесс достаточно трудоемкий. Отсюда возникает необходимость программной реализации описанного процесса построения математической модели физико-химических процессов.

Для программной реализации описанной методологии в настоящей работе используется СКМ Scilab. Эта СКМ имеет следующие преимущества [6]:

свободная лицензия GNU;

кроссплатформенность;

наличие блочного симулятора Xcos;

встроенная поддержка распараллеливания между ядрами;

реализация математических функций;

расширяемость;

сравнительно малый объем на диске (600 – 700 Мб).

В общем случае для моделирования физико-химических процессов автором был разработан ранее в рамках современной неравновесной термодинамики [7 – 10] потенциально-потоковый метод [10 – 12] – единый подход моделирования физико-химических процессов различной природы. Этот подход реализован в виде модуля расширения Xcos в виде блочной палитры [11]. Аналогично методы теории электрических и магнитных цепей [13], методы механики [14] реализованы также в виде модуля расширения Xcos. Таким образом автором разрабатываются модули расширения Scilab, реализующие вышеупомянутую методологию построения математической модели системы [1 – 5], а также реализующие параллельные вычисления на нескольких вычислительных машинах (кластер Beowulf [15]).

Основная часть

Т.к. методы современной неравновесной термодинамики [7 – 12], теории электрических и магнитных цепей [13], методы механики [14] реализованы в виде модулей расширения Xcos/Scilab. Язык программирования Scilab имеет возможность программной работы с диаграммами Xcos, в частности программного задания коэффициентов любой модели Xcos, запуск симуляции модели Xcos, получения результатов симуляции в рабочую область Xcos и дальнейшей работы с этими результатами. Также на базе СКМ Scilab реализована функция datafit, реализующая аппроксимацию математической модели на данных. На вход этой функции подаются данные, в рассматриваемом случае это результаты моделирования динамики ФХП, а именно, динамики выходных характеристик системы, а также аналитическое выражение аппроксимируемой модели (с точностью до настраиваемых постоянных коэффициентов модели). Эти коэффициенты и настраивает функция datafit. Таким образом, используя функцию datafit, мы путем перебора различных аналитических выражений модели рассматриваемой системы аппроксимируем эту модель на множестве динамик ФХП, полученных из системы уравнений этих процессов при различных значениях исключаемых из этой системы величин.

Отсюда возникает закономерный вопрос: а как задать эти аналитические выражения (с точностью до настраиваемых функцией datafit коэффициентов)? В общем случае математическая модель любой рассматриваемой физико-химической системы имеет вид [3 – 5]:

$$\boldsymbol{z}(t) = \boldsymbol{F}(\boldsymbol{y}(t), \boldsymbol{u}(t), \boldsymbol{p}), \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{y}(t)$ - выходные характеристики рассматриваемой физико-химической системы, являющиеся входными характеристиками искомой модели этой физико-химической системы; $\boldsymbol{z}(t)$ - выходные характеристики рассматриваемой физико-химической системы, являющиеся выходными характеристиками искомой модели этой физико-химической системы; $\boldsymbol{u}(t)$ - внешние воздействия на рассматриваемую систему; $\boldsymbol{p}$ - настраиваемые параметры искомой модели. Отсюда, чтобы определить, а какой вид должна иметь функция $\boldsymbol{F}$, входящая в (1), т.е. какой вид зависимости должна иметь функция $\boldsymbol{F}$ от каждого своего аргумента из $\boldsymbol{x}$ или из $\boldsymbol{u}$.

С этой целью необходимо качественно анализировать зависимости одних выходных характеристик системы от других. Для этого необходимо из системы уравнений ФХП в рассматриваемой системе по частям исключать исключаемые величины. Из системы уравнений ФХП мы получим зависимость рассматриваемых выходных характеристик системы от исключаемых из этой системы уравнений ФХП коэффициентов $\boldsymbol{a}$, входящих в эту систему уравнений, начального состояния $\boldsymbol{x}_0$ этой системы:

$$\boldsymbol{y}(t) = \boldsymbol{Y}(\boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}, t), \quad \boldsymbol{z}(t) = \boldsymbol{Z}(\boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}, t). \qquad (2)$$

Сначала из системы (2) исключаем время t. С этой целью $\boldsymbol{y}(t)$ представляем в виде:

$$\boldsymbol{y}(t) = [y_1(t) \quad \boldsymbol{y}^{(2)}(t)^T]^T$$

отсюда, последовательно изменяя переменную времени t, построим, используя (2), на координатных плоскостях с осью абсцисс y_1 и с соответствующими осями ординат $\boldsymbol{z}$ и $\boldsymbol{y}^{(2)}$ соответствующие графические зависимости $\boldsymbol{z}$ от y_1 и $\boldsymbol{y}^{(2)}$ от y_1 при фиксированных $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}$, которые после аппроксимации примут вид:

$$\boldsymbol{y}^{(2)} = \boldsymbol{Y}^{(1)}(y_1, \boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}), \quad \boldsymbol{z} = \boldsymbol{Z}^{(1)}(y_1, \boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}). \qquad (3)$$

При разных фиксированных коэффициентах $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}$ разные соответствующие зависимости $\boldsymbol{z}$ от y_1 и $\boldsymbol{y}^{(2)}$ от y_1 (разные аппроксимации этих зависимостей $\boldsymbol{z}$ от y_1 и $\boldsymbol{y}^{(2)}$ от y_1), что и учитывается в (3). Из вышеописанных графических зависимостей $\boldsymbol{z}$ от y_1 и $\boldsymbol{y}^{(2)}$ от y_1 видны характеры этих соответствующих зависимостей. Исходя из этих характеров зависимостей, мы и выбираем соответствующие функции $\boldsymbol{Y}^{(1)}$ и $\boldsymbol{Z}^{(1)}$; для разных фиксированных $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}$ свои характеры зависимостей $\boldsymbol{z}$ от y_1 и $\boldsymbol{y}^{(2)}$ от y_1, что и учитывается в выборе функций $\boldsymbol{Y}^{(1)}$ и $\boldsymbol{Z}^{(1)}$ с точностью до настраиваемых параметров. Затем эти параметры (в функциях $\boldsymbol{Y}^{(1)}$ и $\boldsymbol{Z}^{(1)}$) и настраиваем функцией datafit.

В общем случае строятся частные зависимости (3) для различных подмножеств величин $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}$, которые затем объединяются в общую зависимость (3). После получения зависимости (3) необходимо постоянные коэффициенты, входящие в эту зависимость (являющиеся настраиваемыми), довести на уже используемых динамиках и на дополнительных сгенерированных из уравнений ФХП динамиках (при дополнительно заданных входящих в систему уравнений ФХП значениях параметров) выходных характеристик рассматриваемой системы с использованием функции datafit. Это необходимо с целью исключения ошибок округления в процессе описанного построения зависимости (3). Эти ошибки округления важно исключить, т.к. полученная зависимость (3) будет использоваться далее для дальнейшего исключения параметров $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}$ описываемым далее способом. Также полученную зависимость (3) необходимо проверить на дополнительных сгенерированных из уравнений ФХП тестовых динамиках (при дополнительно заданных входящих в систему уравнений ФХП значениях параметров) выходных характеристик рассматриваемой системы. При необходимости это зависимость (3) необходимо вышеописанных способом аппроксимировать на больших сгенерированных из уравнений ФХП динамиках этих процессов в этой системе.

Затем, представив параметры $\boldsymbol{a}$ в виде:

$$\boldsymbol{a} = [\boldsymbol{a}_1^T \quad \boldsymbol{a}^{(2)T}]^T$$

из полученных зависимостей (3) исключаем параметры $\boldsymbol{a}_1$. С этой целью, представив $\boldsymbol{y}^{(2)}$ в виде:

$$\boldsymbol{y}^{(2)} = [y_2 \quad \boldsymbol{y}^{(3)}]^T$$

при различных фиксированных y_1 и при фиксированных параметрах $\boldsymbol{a}^{(2)}$, последовательно изменяя параметры $\boldsymbol{a}_1$, построим, используя (3), на координатных плоскостях с осью абсцисс y_2 и с соответствующими осями ординат $\boldsymbol{z}$ и $\boldsymbol{y}^{(3)}$ соответствующие семейства графических зависимостей $\boldsymbol{z}$ от y_2 и $\boldsymbol{y}^{(3)}$ от y_2 при различных y_1 при фиксированных $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}^{(2)}$, которые после аппроксимации примут вид:

$$\boldsymbol{y}^{(3)} = \boldsymbol{Y}^{(2)}\left(y_1, y_2, \boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right), \quad \boldsymbol{z} = \boldsymbol{Z}^{(2)}\left(y_1, y_2, \boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right). \qquad (4)$$

При разных фиксированных коэффициентах $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}^{(2)}$ разные соответствующие семейства зависимостей $\boldsymbol{z}$ от y_2 и $\boldsymbol{y}^{(3)}$ от y_2 при разных y_1 (разные аппроксимации этих зависимостей $\boldsymbol{z}$ от y_1, y_2 и $\boldsymbol{y}^{(3)}$ от y_1, y_2), что и учитывается в (4). Из вышеописанных семейств графических зависимостей $\boldsymbol{z}$ от y_2 и $\boldsymbol{y}^{(3)}$ от y_2 при разных y_1 видны характеры этих соответствующих зависимостей. Исходя из этих характеров зависимостей, мы и выбираем соответствующие функции $\boldsymbol{Y}^{(2)}$ и $\boldsymbol{Z}^{(2)}$; для разных фиксированных $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}^{(2)}$ свои характеры зависимостей $\boldsymbol{z}$ от y_1, y_2 и $\boldsymbol{y}^{(3)}$ от y_1, y_2, что и учитывается в выборе функций $\boldsymbol{Y}^{(1)}$ и $\boldsymbol{Z}^{(1)}$ с точностью до настраиваемых параметров. Затем эти параметры (в функциях $\boldsymbol{Y}^{(2)}$ и $\boldsymbol{Z}^{(2)}$) и настраиваем функцией datafit.

Выполняя аппроксимацию семейства зависимостей $\boldsymbol{z}$ от y_2 и $\boldsymbol{y}^{(3)}$ от y_2 при разных y_1, мы сначала, зафиксировав разные y_1, аппроксимируем соответствующие этим фиксированным y_1 зависимости $\boldsymbol{z}$ от y_2 и $\boldsymbol{y}^{(3)}$ от y_2 с точностью до зависящих от y_1 и от $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}^{(2)}$ коэффициентов $\boldsymbol{\beta}_1\left(y_1, \boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right)$:

$$\boldsymbol{y}^{(3)} = \widetilde{\boldsymbol{Y}}^{(2)}\left(\boldsymbol{\beta}_1\left(y_1, \boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right), y_2\right)$$
$$\boldsymbol{z} = \widetilde{\boldsymbol{Z}}^{(2)}\left(\boldsymbol{\beta}_1\left(y_1, \boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right), y_2\right)$$

Затем аппроксимируем зависимость этих коэффициентов $\boldsymbol{\beta}_1\left(y_1, \boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right)$ от y_1 при фиксированных значениях величин $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}^{(2)}$, проанализировав характер зависимостей этих коэффициентов $\boldsymbol{\beta}_1\left(y_1, \boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right)$ от y_1 при этих фиксированных $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}^{(2)}$, подобрав в соответствие с этим анализом соответствующую аналитическую функцию для $\boldsymbol{\beta}_1\left(y_1, \boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right)$ с точностью до настраиваемых коэффициентов $\widetilde{\boldsymbol{\beta}}_1\left(\boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right)$, зависящих от $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}^{(2)}$:

$$\boldsymbol{\beta}_1\left(y_1, \boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right) = \boldsymbol{B}_1\left(y_1, \widetilde{\boldsymbol{\beta}}_1\left(\boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right)\right)$$

а затем настраиваем эти коэффициенты $\widetilde{\boldsymbol{\beta}}_1\left(\boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right)$ при соответствующих фиксированных $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}^{(2)}$ с помощью datafit. Аналогично путем последовательного анализа характера зависимости и последующей аппроксимации этой зависимости строим зависимость $\widetilde{\boldsymbol{\beta}}_1\left(\boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{a}^{(2)}\right)$. Так получается зависимость (4); аналогично строится зависимость (3).

В общем случае строятся частные зависимости (4) для различных подмножеств величин $\boldsymbol{x}_0$ и $\boldsymbol{a}^{(2)}$, которые затем объединяются в общую зависимость (4). Также после аппроксимации описанным способом зависимости (4) с помощью datafit донастраиваются параметры, входящие в эту зависимость (4) на используемых соответствующих динамиках ФХП и на сгенерированных из уравнений ФХП дополнительных динамиках ФХП (с целью устранения влияния ошибок округления в процессе построения зависимости (4)). Затем вышеописанным способом на дополнительных динамиках ФХП полученная зависимость (4) тестируется и при необходимости дорабатывается.

Аналогично описанному последовательно исключаются из (4) параметры $\boldsymbol{a}^{(2)}$, а затем параметры $\boldsymbol{x}_0$. Получается зависимость (1). Таким образом, построение зависимости (1) сводится к последовательному исключению времени, переменных $\boldsymbol{a}$, переменных $\boldsymbol{x}_0$ путем анализа характера зависимости функций одной переменной и дальнейшей аппроксимации этой зависимости с использованием datafit. И последовательной донастройки соответствующих коэффициентов (с помощью datafit) после каждого этапа.

Таким образом, для описанного построения математической модели рассматриваемой системы (из анализа и математического моделирования ФХП в ней) необходимо задать класс функций одной переменной, на основе которых и строятся соответствующие функции $\boldsymbol{F}$, входящие в зависимость (1). Эти функции одного переменного должны сопровождаться их качественным описанием (описанием области определения, области значений, промежутков монотонности, промежутков выпуклости). Также эти функции одного переменного должны содержать индекс предпочтительности использования. Индекс

предпочтительности необходим для выбора наиболее выгодно реализуемых функции на соответствующем микропроцессоре/микроконтроллере или прочей системе (управления, диагностики).

В число таких пользовательских функций одной переменной также входят функции интерполяции, основанные на опорных значениях аргумент-функция. Но эти функции имеют наименьший индекс предпочтительности.

Также в класс функций, на которых мы и задаем модель, могут входить функции многих переменных. Эти функции должны сопровождаться также представлением этих функций в виде композиции функций одной переменной.

Отсюда, реализация методологии построения математических моделей [1 – 4] на базе СКМ Scilab заключается в реализации программных модулей расширения ATOMS:

модуля, реализующего моделирование различных динамик ФХП, использующего Xcos вместе с вышеупомянутыми модулями расширения Xcos; этот модуль на вход принимает:

структуру ФХП в рассматриваемой системе;

заданные значения параметров, входящих в зависимости свойств веществ и процессов в этой системе, для этих значений параметров и строим множество различных динамик;

заданные функции предварительной обработки полученных динамик выходных характеристик рассматриваемой физико-химической системы;

на выходе этого модуля получаем множество динамик выходных характеристик рассматриваемой физико-химической системы, соответствующих заданным параметрам;

модуля, реализующего заданный пользователем класс используемых функций одного и многих переменных (вместе с их описаниями);

модуля, реализующего пользовательское описание модели физико-химической системы;

модуля, реализующего перебор различных аналитических выражений моделей рассматриваемой системы и выполняющих аппроксимацию модели системы на множестве различных динамик ФХП в системе в классе этих аналитических выражений (путем вышеописанного исключения из системы уравнений ФХП в системе неизвестных величин); этот модуль базируется на предыдущих трех описанных модулях; на вход этот модуль принимает вышеописанные пользовательские описания функций, а также данные, подаваемые на вход модуля получения различных динамик ФХП; на выходе этот модуль выдает полученную модель рассматриваемой физико-химической системы;

модуля, реализующего автоматическое построение блочной диаграммы Xcos ФХП в системе на базе пользовательского описания этой системы; на вход принимает пользовательское описание, а на выходе – Xcos-диаграмму ФХП в рассматриваемой системе.

Таким образом, работа с описанной реализацией на базе СКМ Scilab методологии построения математической модели физико-химических систем осуществляется как в графическом режиме (построение структуры ФХП в системе), так и в командном режиме, осуществляющем собственно решение задач построения математических моделей рассматриваемых систем.

Как нетрудно видеть из приведенного в [1 – 5] описания процесса построения математической модели рассматриваемой ФХС этот процесс декомпонуем на подзадачи построения частных математических моделей с их последующем объединением в общую модель. Таким образом, эта задача может быть распараллелена на нескольких компьютеров; причем это распараллеливание горизонтально масштабируемо. Также путем декомпозиции блок-диаграммы ФХП моделирование этих процессов и соответствующее построение модели системы также декомпонуется на подзадачи [12] и соответсвенно распараллеливается. В СКМ Scilab такое распараллеливание осуществляется с использованием модуля Socket.

Заключение

Таким образом, в настоящей статье была рассмотрена программная реализация разработанной ранее автором методологии построения математической модели (диагностической и прогностической модели) рассматриваемой физико-химической системы из анализа процессов в ней. Эта методология представляет собой последовательную вариацию каждой группы неизвестных исключаемых величин из системы уравнений ФХП и получению на этих вариациях зависимостей. Т.к. варьируемые переменные мы можем задавать независимо друг от дружки, то описанное построение модели декомпонуемо на построение частных моделей. Это дает возможность последовательного решения любой поставленной задачи по частям на одном компьютере или одновременного решения задач по частям на нескольких компьютерах; эти части на этих компьютерах выполняются параллельно (вычислительный кластер беовульф [15]). Распараллеливание на потоки СКМ Scilab выполняет самостоятельно; отсюда для ускорения построения математических моделей различных физических и физико-химических систем используется описанная декомпозиция и распараллеливание на разных компьютерах (или на нескольких процессах на одном компьютере).

Пользовательский интерфейс – графический, дающий возможность построения блок-схемы ФХП в рассматриваемой системе, а также задания класса функций, и командный, дающий также возможность задания функций.

Таким образом, рассматриваемая реализация на базе СКМ Scilab рассмотренной методологии построения математической модели дает исследователю возможность решения задачи по частям, а также право выбора либо последовательно по этим частям решать задачи на одном компьютере, либо в параллель на нескольких компьютерах. Это имеет важное значение, т.к. известно, что построение математической модели сложной системы осуществляется путем декомпозиции этой задачи на подзадачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Starostin I.E., Khalutin S.P. Obtaining robotic objects model from the equations of the potential-flow method // 20th international conference of younger specialists on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2019. Novosibirsk: Publishing NSTU, 2019. P. 678 – 684.

2. Старостин И.Е., Быков В.И. Анализ и моделирование в сосредоточенных параметрах динамики реальных физико-химических процессов методами современной неравновесной термодинамики с использованием системного анализа // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Пенза: ПГУ, 2018. 1 т. С. 210 – 214.

3. Старостин И.Е. Методика получения математической модели эксплуатируемого объекта из потенциально-потоковых уравнений физико-химических процессов // Научные горизонты, 2019. № 10(26). С. 197 – 206.

4. Старостин И.Е. К вопросу программной реализации методики получения математической модели эксплуатируемого объекта из потенциально-потоковых уравнений физико-химических процессов // Научные горизонты, 2019. № 11(27). С. 214 – 230.

5. Старостин И.Е., Давидов А.О., Левин А.В. Моделирование возможных динамик физико-химических процессов в литий-ионных аккумуляторах // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Пенза: ПГУ, 2018. 1 т. С. 219 – 224.

6. https://www.scilab.org (дата обращения 5.04.2020)

Jou D., Casas-Vazquez J., Lebon G. Extended irreversible thermodynamics. New York, USA: Springer, 2006.

7. Эткин В.А. Энергодинамика: синтез теорий переноса и преобразования энергии. СПб: Наука, 2008.
8. Полак Л.С. Неравновесная химическая кинетика и ее применение. – М.: Наука. 1979.
9. Starostin I.E., Bykov V.I. Kinetic theorem of modern non-equilibrim thermodynamics. Raley (Noth Caroline, USA): Open science publishing, 2017.
10. Старостин И.Е., Степанкин А.Г. Программная реализация методов современной неравновесной термодинамики. И система симуляции физико-химических процессов SimulationNonEqProcSS v. 0.1.0. Бо Бассен, Маврикий: Lambert academic publishing, 2019.
11. Старостин И.Е., Халютин С.П., Быков В.И. Упрощение потенциально-потоковых уравнений динамики физико-химических процессов для получения математической модели системы // Сложные системы. 2019. № 3(32). С. 82 – 97.
12. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 1996.
13. Беленький И.М. Введение в аналитическую механику. М.: Высшая школа, 1964.
14. https://ru.wikipedia.org/wiki/Beowulf_(кластер) (дата обращения 5.04.2020)

УДК 519.857.6

Дорофеева О.С., Казаков Б.В., Казакова И.А.
ФГБОУ ВО «Пензенский Государственный университет», Пенза, Россия

КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ БЛОКОВ БАЗЫ ДАННЫХ, ОСНОВАННЫЙ НА ПРОСТЫХ ЦЕПЯХ МАРКОВА

В современных СУБД поиск информации по запросам выполняется путем чтения из базы данных (БД) блоков (физических записей), при этом может выполняться чтение блоков с различными адресами. Характер информации может повлиять на частоту выборки того или иного блока БД. Это связано с тем, что некоторые СУБД используют для организации данных на физическом уровне связанные списки, значения указателей этих списков определяют адреса определенных блоков БД. Поэтому частота использования информации , находящейся в некоторых записях связанного списка будет существенно влиять на частоту исполнения команд ввода/вывода блоков, содержащих эти записи. Учитывая эти положения предлагается следующая вероятностная модель работы с наборами данных БД.

Ключевые слова:
БАЗА ДАННЫХ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ, ЦЕПИ МАРКОВА

Одной из наиболее важных характеристик современных баз данных является их постоянное изменение и расширение. По мере добавления новых приложений должна быть обеспечена возможность быстрого изменения логической и физической организации базы данных.

Комплекс мероприятий, направленных на приведение ранее накопленных данных в соответствии с изменениями, вносимыми в их структуру, называется преобразованием БД.

Процесс преобразования БД включает реструктуризацию (преобразование на логическом уровне) и реорганизацию (преобразование на физическом уровне).

Причины, вызывающие необходимость внесения изменений в структуру БД, следующие:

изменение предметной области;

изменение схемы БД;

композиция и декомпозиция БД;

переход к более эффективным запоминающим устройствам по мере увеличения количества информации в БД;

уменьшение производительности СУБД;

появление новых пользователей БД.

Описание предметной области, зафиксированное в схеме БД, не может моделировать объективного развития предметной области во времени. Внесение изменений в схему БД (а, значит, и в структуру БД) приводит к тому, что вся информация, накопленная в БД, становится недоступной для обработки СУБД. Для обеспечения живучести информационных систем и поддержания их в актуальном состоянии администратор БД должен периодически выполнять преобразование БД. Преобразование больших БД связано с большими затратами и риском нарушить нормальную работу системы. Поэтому требуется специальный инструментарий администратора БД, позволяющий автоматизировать его труд по преобразованию БД и снижающий требования к его квалификации. Однако в настоящее время не существует общих методов преобразования различных структур данных и, как следствие, универсальных систем реорганизации БД. Это существенно затрудняет использование крупных информационных систем. В связи с тем, что затраты на разработку мощных средств реорганизации универсальных СУБД весьма велики и сравнимы со стоимостью разработки основного программного обеспечения СУБД, определение оптимального момента реорганизации БД является одной из основных проблем сложного процесса преобразования. Кроме того, существующие методы и системы реорганизации не позволяют использовать дорогостоящее программное обеспечение для реорганизации баз данных, поддерживаемых другими СУБД, и заставляют администратора БД выводить систему из нормального режима работы на период (иногда достаточно длительный) реорганизации.

Таким образом, дальнейший прогресс в области разработки баз данных, быстрое расширение сфер их приложения, объективная необходимость преобразования баз данных, большая трудоемкость и высокая стоимость разработки систем реорганизации и отсутствие общих методов построения таких систем определяют актуальность разработки и исследования программных и технологических средств преобразования баз данных.

В современных СУБД поиск информации по запросам выполняется путем чтения из базы данных (БД) блоков (физических записей), при этом может выполняться чтение блоков с различными адресами. Характер информации может повлиять на частоту выборки того или иного блока БД. Это связано с тем, что некоторые СУБД используют для организации данных на физическом уровне связанные списки, значения указателей этих списков определяют адреса определенных блоков БД. Поэтому частота использования информации, находящейся в некоторых записях связанного списка будет существенно влиять на частоту исполнения команд ввода/вывода блоков, содержащих эти записи. Учитывая эти положения, предлагается следующая вероятностная модель работы с наборами данных БД. [1]

Пусть некоторая БД может находиться в n состояниях $\Psi = \Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \dots, \Psi_n$ и её поведение описывается простой цепью Маркова с матрицей переходных вероятностей p:

$$P=\begin{Vmatrix} p_{11}\, p_{12} \dots . p_{1n} \\ p_{21}\, p_{22} \dots . p_{2n} \\ p_{31}\, p_{32} \dots . p_{3n} \\ \dots\dots\dots\dots\dots \\ p_{n1} p_{n1} \dots . p_{nn} \end{Vmatrix} \quad (1)$$

Полагая цепь Маркова эргодичной, путем решения соответствующей системы линейных уравнений найдем финальные вероятности r1,r2…rn состояний φ1 φ2….φn

Предположим теперь, что переход из состояния происходит за время tij=t$|i-j|$, считая tii=t0=f(0)=0, где f(x)-некоторая неубывающая функция. Таким образом получаем симметрическую матрицу T, индуцированную функцией f$|i-j|$

$$T=\begin{Vmatrix} t_0\, t_1 \dots . t_{n-1} \\ t_1\, t_0 \dots . t_{n-2} \\ t_2\, t_1 \dots . t_{n-3} \\ t_3 t_2 \dots . t_{n-4} \\ t_4\, t_3 \dots . t_{n-5} \\ \dots\dots\dots\dots\dots \\ t_{n-1}\, t_{n-2} \dots . t_0 \end{Vmatrix} \quad (2)$$

Найдем математическое ожидание перехода из одного состояния в другое за один шаг.

Пусть система в некоторый момент времени находилась в состоянии Ψ_i, , тогда математическое ожидание времени перехода согласно матрицам(1) и (2) будет равно:

$$m_i = t_{i-1}p_{i1} + t_{i-2}p_{i2} + \cdots + t_i p_{(i-1)} + t_0 p_{ii} + t_1 p_{i(i-1)} +$$
$$+\ldots + t_{n-i}p_{in} = \sum_{j=1}^{n} t_{|i-j|}\, p_{ij}$$

Учитывая финальные вероятности ri, i=1,2,…n для математического ожидания времени перехода системы из одного состояния в другое за один шаг, будем иметь:

$$M\left[t,\overline{\phi}\right] = \sum_{i=1}^{n} r_i m_i = \sum_{i=1}^{n} r_i \sum_{j=1}^{n} t_{|i-j|} P_{ij} \qquad (3)$$

Поменяем теперь местами некоторые состояния Ψ_k и Ψ_i, i<k, l<≤n. Тогда матрица P останется неизменной, а матрица T перейдет в матрицу T*,получившуюся из матрицы T транспозицией k-го и l-го столбца и k-й и l-й строки.

Математическое ожидание времени перехода системы из одного состояния в другое за один шаг

$$M^*\left[t,\overline{\phi}\right] = \sum_{i=1}^{n} * r_i \sum_{j=1}^{n} * t_{|i-j|} P_{ij} + \sum_{j=1}^{n} r_k t_{|l-j|} P_{kj} +$$
$$+ \sum_{j=1}^{n} r_l\, t_{|k-j|} P_{lj} + \sum_{i=1}^{n} r_i P_{ik}\, t_{|k-j|} P_{il}\,, \qquad (4)$$

где * обозначены суммы, из которых удалены элементы с индексами k и l, т.е. в матрицах P и T удалены k-й и l-й столбца и k-я и l-я строки. Представим $\mathrm{M}\left[\mathrm{t},\overline{\phi}\right]$ в виде, аналогичном $M * \left[t,\overline{\phi}\right]$

$$M\left[t,\overline{\phi}\right] = \sum_{i=1}^{n} * r_i \sum_{j=1}^{n} * t_{|i-j|} P_{ij} + \sum_{j=1}^{n} r_k t_{|k-j|} P_{kj} +$$
$$+ \sum_{j=1}^{n} r_l\, t_{|l-j|} P_{lj} + \sum_{i=1}^{n} r_i P_{ik}\, t_{|i-k|} P_{ik} + \sum_{i=1}^{n} r_i\, t_{|i-l|} P_{il} \qquad (5)$$

Очевидно, что система с матрицей T будет оптимальнее (в смысле быстродействия) системы с матрицей T*, если

$$M\left[t,\overline{\phi}\right] - M * \left[t,\overline{\phi}\right] < 0 \qquad (6)$$

Таким образом, необходимо найти такую перестановку состояний системы $\overline{\phi} *= \langle \phi_{i_1}, \phi_{i_2}, \ldots, \phi_{i_k} \rangle$, $i_k = \overline{1,n}$, где $i_k = 1,2,\ldots,n$, для которой справедливо равенство

$$M\left[t,\overline{\phi}^*\right] = \min_{\phi \in S} M\left[t,\overline{\phi}\right] \qquad (7)$$

где S- всевозможные перестановки на множестве состояний $\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \ldots, \Psi_n$

Система оптимальна , если для любых 1≤k, 1≤n выполняется неравенство:

$$\sum_{j=1}^{n} (t_{|k-j|} - t_{|l-j|}) \cdot [(r_k P_{kj} + r_j P_{jk}) - (r_l P_{lj} + r_j P_{jl})] < 0 \qquad (8)$$

Квазиоптимизирующий алгоритм реорганизации базы данных. Используя выражение (8) был разработан алгоритм целью минимизации времени доступа к БД. Предполагалось, что данные БД расположены в *n* блоках в определенном порядке, и кроме того, процесс обращения к данным регулируется простой эргодической цепью Маркова, матрица переходных вероятностей которой может быть сформирована на основе статистических измерений.

Применение данного критерия требует порядка *n!* проверок неравенства (8). При малых *n* эти вычисления не трудно организовать на ЭВМ для всех наборов индексов *k* и *l*, фигурирующих в выражении (8). Однако при больших n такая процедура будет занимать неприемлемое время. Поэтому ниже предлагается алгоритм, позволяющий при большом числе блоков БД получать последовательное улучшение (в смысле времени доступа) расположения блоков БД. Алгоритм не предполагает нахождение оптимального расположения блоков, т.к. в классе всех матриц *P* и Г оптимальным алгоритмом будет алгоритм проверки всех неравенств (8), т.е. требующий *n!* вычислений левых частей выражения (8). В связи с этим данный алгоритм назван квазиоптимизирующим.

Рассмотрим основную идею алгоритма.

Пусть даны матрицы *P* и T. Предварительно вычисляется среднее время перехода механизма считывания (записи) устройства прямого доступа от блока к блоку. Далее алгоритм работает поэтапно. На первом этапе на первом шаге первый блок коммутируется со всеми последующими и для каждой коммутации проверяется среднее время перехода и производится коммутация, доставляющая минимум среднего времени доступа. Затем, на втором шаге в новом расположении блоков второй блок коммутируется со всеми последующими, вновь вычисляется для каждой коммутации среднее время перехода, производится соответствующая коммутация, доставляющая минимум среднего времени доступа. На третьем шаге аналогичным образом рассматривается третий блок нового расположения и т.д.

Таким образом, на первом этапе будет произведено 0.5*(n-1)*(n-2) вычислений среднего времени доступа, причем мы получим некоторое (при так организованных коммутациях) наилучшее расположение блоков. Может в частности оказаться, что наилучшим окажется исходное расположение блоков БД, тогда наш алгоритм заканчивает работу и ничего лучшего дать не может. Если же хотя бы на одном шаге первого этапа производилась коммутация блоков, то на расположении блоков, полученном после выполнения первого этапа, осуществляется второй этап, полностью повторяющий i процедуры первого.

Число этапов V можно ограничить, с одной стороны, задав какое-то число этапов V0 , руководствуясь разумным временем работы ЭВМ, с другой стороны, если $\Delta t_v = 0$, т.е. экономия времени доступа на шаге будет равна нулю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорофеева О.С., Казаков Б.В., Казакова И.А. Применение объектно-ориентированного подхода к разработке и моделированию сложных программных систем. В сборнике: Новые информационные технологии и системы. Материалы XV Международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию Пензенского государственного университета . – 2018. С. 24-26.3.

2. Фролов К.М. Казакова И.А. Модификация структур данных для их использования в качестве индексов баз данных: Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы. – Сборник научных статей II Ежегодной межвузовской студенческой научно-практической конференции. 2015. С. 295-297.

3. азакова И.А., Фролов К.М. Оптимизация доступа к данным на основе индексов. – Мир современной науки. 2014. № 3 (25). С. 32-34.

УДК 618.614

Пономарёв В.Н., Плеханов М.М.

АО «Научно-исследовательский институт физических измерений», Пенза, Россия

ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ ДЛЯ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Приведены примеры влияния стабилизации на свойства тонкоплёночных резисторов. Приведены способы термостабилизации тонкоплёночных резисторов для сплавов Х20Н75Ю и П65ХС. Приведены примеры тонкоплёночных резисторов, на основе которых проводились испытания и разрабатывались способы термостабилизации. Указано как проводить термостабилизацию, при какой температуре для каждого из сплавов, количество циклов и в каких условия проводится термостабилизация, сколько необходимо времени для каждого из циклов. Проведены испытания на опытных образцах и проведены замеры необходимых параметров. На основе проведённых экспериментов с тонкоплёночными резисторами чувствительных элементов, предоставлены данные об изменении сопротивлений тонкоплёночных резисторов, которые изображены на графиках. На основе полученных данных сделаны выводы о том, на что влияет термостабилизация, для каждого из сплавов.

Ключевые слова:

ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ РЕЗИСТОРЫ (ТР), ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ, СОПРОТИВЛЕНИЕ, ДИФФУЗИЯ ПЛЁНОК

Введение

На сегодняшний момент множество различных систем и устройств используют тонкоплёночные резисторы (ТР) и очень сложные структуры, что снижает их надёжность. Зачастую во многих устройствах, таких как например датчики давления, ТР являются основной проблемой нестабильности выходного сигнала.

Проблемы возникают ещё при напылении ТР. Есть множество причин нестабильности параметров ТР, которые можно решить с помощью стабилизации. Существует множество способов стабилизации параметров ТР, которые минимализируют их нестабильность.

1. Термостабилизация ТР

После напыления ТР для них характерны неравновесная концентрация дефектов, неустойчивая гетерогенная структура и множество других различных несовершенств. Всё это в итоге приводит к изменению сопротивления в течении времени и под действием высоких температур. При воздействии высоких температур сопротивление изменяется в следствии роста структурной гомогенности. Соответственно для обеспечения термодинамически устойчивой структуры, после напыления проводится термостабилизация резистивного слоя в вакууме. После выдержки при высокой температуре в течении некоторого времени (время выдержки варьируется для каждого сплава используемого при напылении) при более низкой температуре образуют защитную окисную плёнку путём напуска воздуха в камеру. Это позволяет изменить размер зёрен и величину зазора между отдельными зёрнами, что обеспечивает термодинамически устойчивую структуру. Контакты ТР формируются из золота с адгезионным подслоем из ванадия.

Исходя из того, что процессы протекающие при формировании ТР имеют неуправляемый характер, можно сделать вывод, что так называемая система «конденсат-подложка» является существенно неравновесной. Проводя технологические тренировки путем воздействия высокоэнергетических термоциклических нагрузок можно на определённом уровне стабилизировать созданные схемы.

2. Термостабилизация ТР из сплава Х20Н75Ю

На основе множества данных о состоянии параметров ТР после напыления, создания защитной плёнки и формирования контактов, была разработана методика термостабилизации ТР из сплава Х20Н75Ю.

Есть два вида топологии мостовых схем для ТР из сплава Х20Н75Ю, которые применяются на практике: топология с полосковыми ТР и топология с составными ТР (рисунок 1).

а) б)

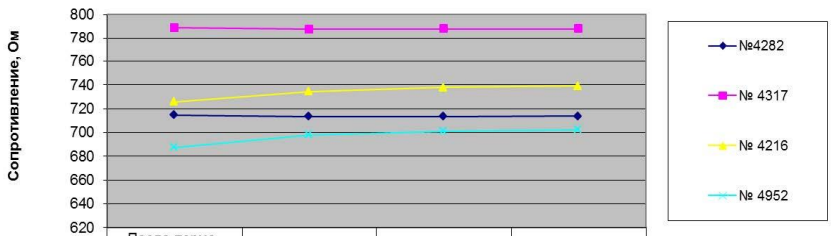
Рисунок 1 — Виды топологии мостовой схемы: а - топология с полосковыми ТР; б - топология с составными ТР

ТР помещаются в вакуумную камеру где при давлении $P = (1 \cdot 10^{-5} \ldots 5 \cdot 10^{-6})$ мм рт.ст. , были подвержены циклическому воздействию перепадов температур в два цикла. Сначала в течении 30 минут выдерживаются при температуре (350±10) °С, затем остывают до 100 °С в течении 2 часов. После чего проводится отжиг при температуре (280±10) °С в течении 4-6 часов на воздухе.

После каждого цикла проводятся замеры значений сопротивления ТР, для контроля его стабильности. Исходя из данных, полученных в ходе испытаний, были построены графики показывающие стабильность значений сопротивлений резисторов для 4-х образцов каждого вида ТР (Рисунок 2, 3). В зависимости от того какой тип ТР подвергался термостабилизации отличаются и диапазоны изменений сопротивлений ТР.

Изменение сопротивления резистора R_1

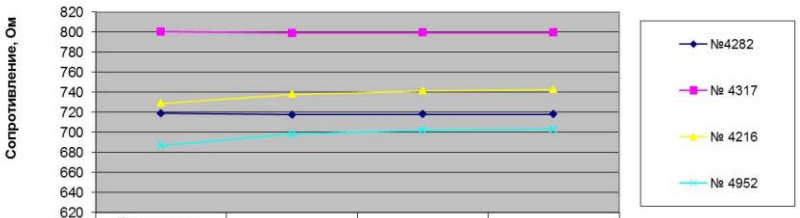
а)



	После термо-стабилизации	1-й цикл	2-й цикл	3-й цикл
№4282	714,7	713,4	713,5	713,7
№ 4317	788,8	787,5	787,7	787,9
№ 4216	725,9	734,7	737,9	739,3
№ 4952	687,6	698,2	701,2	702,5

б)

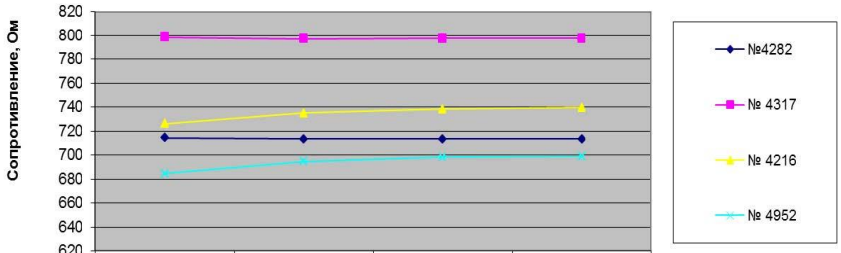
Изменение сопротивления резистора R_2



	После термо-стабилизации	1-й цикл	2-й цикл	3-й цикл
№4282	719	717,7	718	718
№ 4317	800,4	799	799,3	799,4
№ 4216	729,1	738,2	741,5	742,9
№ 4952	687,1	698,4	702,1	703,4

в)

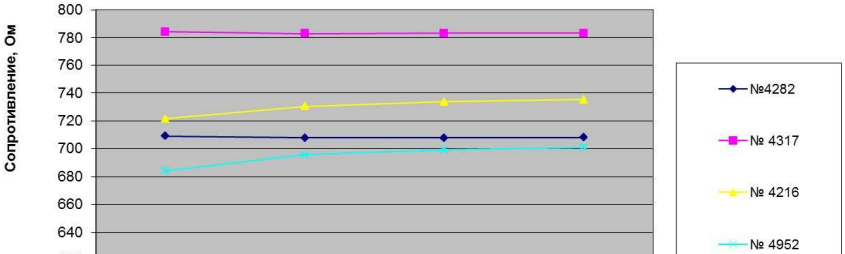
Изменение сопротивления резистора R_3



	После термо-стабилизации	1-й цикл	2-й цикл	3-й цикл
№4282	714,4	713,2	713,3	713,4
№ 4317	798,2	796,9	797,2	797,2
№ 4216	726,1	735	738,3	739,6
№ 4952	684,3	694,7	698,2	699

г)

Изменение сопротивления резистора R_4

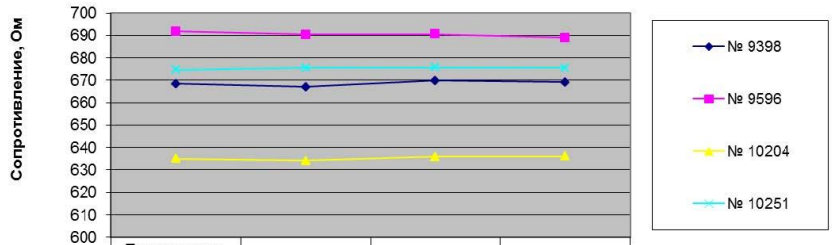


	После термо-стабилизации	1-й цикл	2-й цикл	3-й цикл
№4282	709	707,8	707,9	708,1
№ 4317	784,4	783,1	783,3	783,5
№ 4216	721,5	730,4	733,8	735,1
№ 4952	684,3	695,6	699,2	701

Рисунок 2 — Изменение сопротивлений ТР чувствительного элемента с составными ТР: а — ТР *R*1;б — ТР *R*2;в — ТР *R*3;г — ТР *R*4.

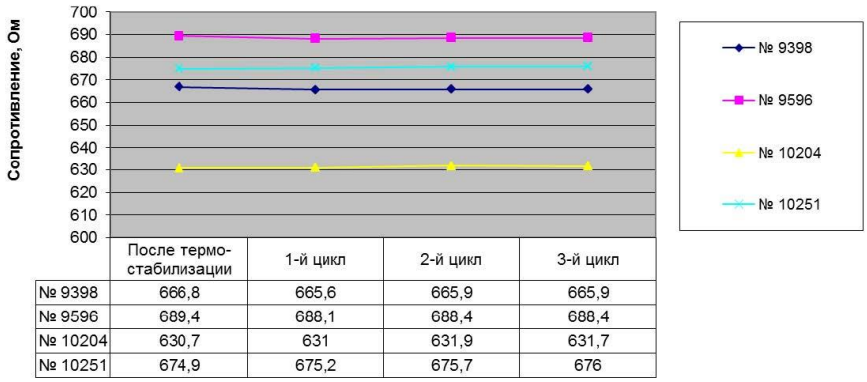
а)

Изменение сопротивления резистора R_1



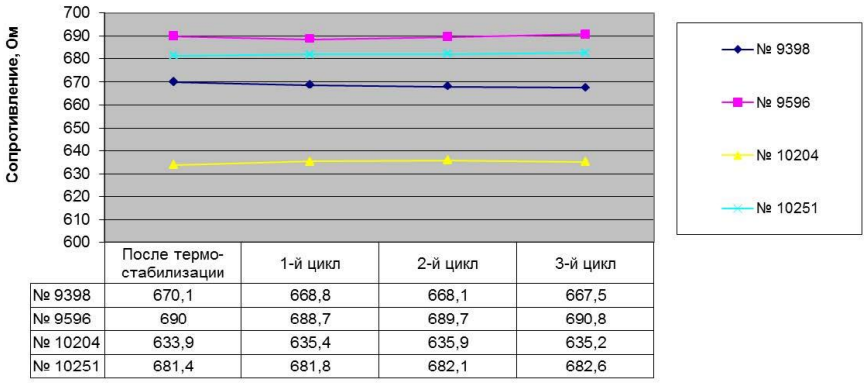
	После термо-стабилизации	1-й цикл	2-й цикл	3-й цикл
№ 9398	668,4	667,1	669,8	669,1
№ 9596	691,8	690,4	690,6	689
№ 10204	635,1	634,2	635,9	636,1
№ 10251	674,6	675,5	675,7	675,6

б)



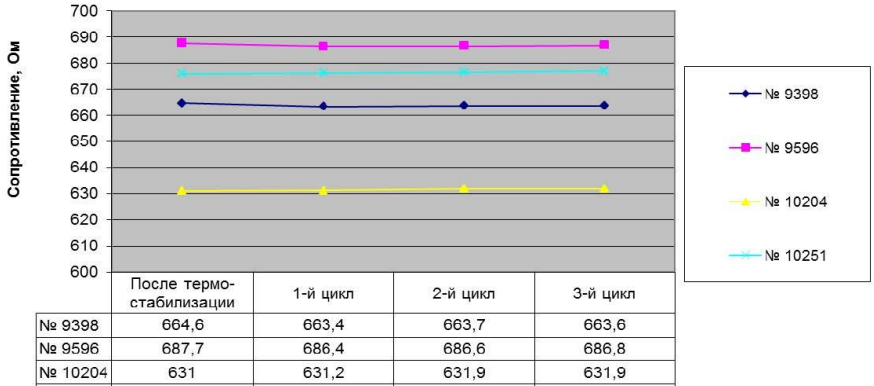
	После термо-стабилизации	1-й цикл	2-й цикл	3-й цикл
№ 9398	666,8	665,6	665,9	665,9
№ 9596	689,4	688,1	688,4	688,4
№ 10204	630,7	631	631,9	631,7
№ 10251	674,9	675,2	675,7	676

в)



	После термо-стабилизации	1-й цикл	2-й цикл	3-й цикл
№ 9398	670,1	668,8	668,1	667,5
№ 9596	690	688,7	689,7	690,8
№ 10204	633,9	635,4	635,9	635,2
№ 10251	681,4	681,8	682,1	682,6

г)



	После термо-стабилизации	1-й цикл	2-й цикл	3-й цикл
№ 9398	664,6	663,4	663,7	663,6
№ 9596	687,7	686,4	686,6	686,8
№ 10204	631	631,2	631,9	631,9
№ 10251	676	676,2	676,6	677

Рисунок 2 — Изменение сопротивлений ТР чувствительного элемента с полосковыми ТР: а — ТР *R*1;б — ТР *R*2;в — ТР *R*3;г — ТР *R*4.

Из графиков видно, что изменение сопротивления составных ТР составляет 0,1-0,3 Ом после второго цикла и 1,2-1,3 Ом в сторону уменьшения после третьего, что указывает на упорядочение внутренней структуры и завершения окислительных процессов. Изменение сопротивлений составных ТР составило 8,8-11,3 Ом после первого цикла и 3,0-3,7 Ом после второго цикла. У чувствительного элемента №4952 произошёл разбаланс мостовой схемы, чему свидетельствует разброс между *R*1 и *R*3 на 0,5 Ом

Проведение термостабилизации после напыления позволяет стабилизировать процессы, проходящие внутри плёнок ТР и диффузионные процессы окислообразования внутри плёнок, а также выявить скрытые дефекты в плёнке ещё на стадии изготовления.

3. Термостабилизация ТР из сплава П65ХС

На данный момент сплав П65ХС является наиболее перспективным для создания ТР толщиной от 2000 до 3000 Å. Для получения высокостабильных ТР, из данного сплава, обладающих положительным ТКС и стабильных, при кратковременном воздействии высоких температур, также была создана методика термостабилизации.

ТР помещается в вакуумную камеру где при давлении ($1\cdot10^{-5}$ ...$5\cdot10^{-6}$) мм рт.ст. подвергается прямому излучению в течении (0,5-3) минут (верхнии слои разогреваются до (550-700) °С). Затем при температуре (350±10) °С в течении 8-10 часов проводят термообработку на воздухе.

Кратковременное высокотемпературное воздействие ((0,5-3) минут и температурный диапазон (550-700) °С) позволяет завершить процессы окислообразования, образования силицидов металлов и других соединений. Термобработка на воздухе помогает снять напряжения от локальных микропластических деформаций. Это было подтверждено поведением испытаний 5 образцов имеющими различные значения ТКС (таблица 1).

Значение сопротивлений и ТКС ТР Таблица 1

№ ЧЭ	Сопротивления ТР			ТКС ТР	ТКС ТР
	R_{t1},Ом	R_{t2},Ом	R_{t3},Ом	ТКС $10^5, 1/^0C$	ТКС 2×10^5 , $1/^0C$
	20^0C	-40^0C	50^0C	-40^0C	50^0C
1	3430,0	3433,0	3429,0	-0,972	-0,975
241	3483,32	3479,3	3485,73	1,9235	1,7608
236	3283,01	3280,03	3284,73	1,5128	1,7464
156	3534,1	3529,9	3535,8	1,9807	1,6034
165	3332,62	3327,21	3333,42	2,7056	0,8002

На основе всех испытаний были сделаны выводы, что кратковременная высокоэнергетическая обработка схемы излучением, позволяет связать в устойчивые соединения молекулы азота, кислорода и др., а также свободные атомы материалов тонкоплёночных структур, а также позволяет активизировать процесс деградации в этих структурах.

Заключение

Датчики давления используются во многих областях инфраструктуры, на многих производствах и во многих механизмах, для контроля за их состоянием. Основным их элементом являются ТР. Но из-за сложностей их создания могут возникать различные проблемы при эксплуатации датчиков. Могут наблюдаться нестабильность во времени, нестабильность при температурных воздействиях, нестабильность из-за внутренних дефектов плёнок после напыления и др. проблемы связанные с несовершенностью производства тонких плёнок. Нестабильности возникают при эксплуатации, а причины нестабильности заложены самой спецификой технологии тонкоплёночной микроэлектроники. Поэтому и необходима разработка различных способов стабилизации и технических тренировок, чтобы стабилизировать параметры ТР.

В данной статье были рассмотрены способы термостабилизации ТР из сплавов Х20Н75Ю и П65ХС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование и разработка тонкоплёночных гетерогенных структур чувствительных элементов датчиков давления с экстремальными условиями эксплуатации / С.А.Гурин, 2016. - 157 с.

2. Исследование влияния электрических, технологических и эксплуатационных характеристик на конструктивные параметры тонкопленочных резисторов . / Рецензент В.А.Медников : СГАУ, 2010. - 29 с.

3. Способ стабилизации и подгонки тонкопленочных резисторов и устройство для его осуществления / Ю.А. Зеленцов, Е.А. Мокров, П.А. Колосов, А.И. Ворожбитов: патент. – RU 2306625 (дата публикации: 20.09.2007).

4. Способ повышения стабильности тонкопленочных тензорезисторов / И. Н. Чебурахин, П. А. Колосов: УДК 531.781.2.084.2 (дата публикации 2012).

5. Исследование технологических погрешностей сопротивления тонкопленочного резистора / В. Г. Спирин : журнал - Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2011. - 6 с.

УДК 681.3:004.932.2

Кузина[1] Е.А., Юркова[2] Е.М.

[1]ФБГОУ ВО МИРЭА - Московский технологический университет, Москва, Россия

[2]Высшая школа экономики, Прага, Чехия

К ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Отсутствуют методы оценки показателей надежности, обладающие возможностями прогнозирования развития дефектов электронных компонентов под действием внешних факторов, превращения дефектов в отказы сложных электронных систем (СЭС), целостного подхода к анализу надежности.

Предложен подход обеспечения заданного уровня показателей надежности проектируемых СЭС на основе развития теоретических основ многофакторного анализа причин дефектов, их вероятностного развития под воздействием внешних факторов, и перехода в отказы.

Разработан комплексный метод моделирования многофакторного влияния внешних воздействующих факторов на показатели надежности СЭС, с учетом обеспечения заданного уровня контролепригодности. Создана визуальная среда проектных исследований, позволяющая формировать единую информационную модель изделия, интегрирующую комплекс моделей развития дефектов электронных систем.

Ключевые слова:

НАДЕЖНОСТЬ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬ, СЛОЖНАЯ СИСТЕМА, ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ

Стоящая перед современными производствами проблема создания и обеспечения надежной эксплуатации сложных электронных систем (СЭС), требует целостного подхода к анализу надежности вновь проектируемой аппаратуры. Накопленный опыт надежностного проектирования не перекрывает современных все возрастающих требований обеспечения бесперебойной и качественной работы электронных систем. В то же время большинство современных систем автоматизированного проектирования базируются на мощнейших системах математического моделирования, каждая из которых усовершенствована в определенном направлении и позволяет достичь максимальных результатов. Но каждая в отдельности система моделирования не позволяет в полной мере учесть все многообразие условий эксплуатации, возрастающее число внешних воздействующих факторов и т.п., и т.д.

Математическая модель сложной технической системы не может быть построена на основе рафинированной системы, на основе отдельной алгебраической модели и метода исчисления. Реальная модель строится как система, включающая различные формы представления и методы исчисления.

Аксиоматический метод является в настоящее время основным методом исследования во многих разделах современной математики и в инженерной практике. Этот метод наиболее полно удовлетворяет основным требованиям при разработке концепции автоматизации технологического проектирования (АТП), методу ее построения и представления.

Сущность аксиоматического метода состоит в следующем: положив в основу аксиоматической теории исходные предложения, называемые аксиомами, необходимо вывести все другие предложения теории при помощи логических законов. Это могут быть теоретико-множественные понятия, математическая логика, понятия теории графов и символического исчисления, другие математические структуры. Математическая структура или просто структура A представляет собой базисные множества, элементы которых состоят в некоторых отношениях, описываемых свойствами, и обозначается

$$A = \{M_j, M_2, \ldots, M_n, R_j, R_2, \ldots, R_k\},$$

где M_i - множества R_l - свойства.

Всякий конкретный набор основных образов и основных отношений между ними, удовлетворяющих требованиям данной системы аксиом, определяет модель или интерпретацию данной системы аксиом. Правила вывода должны гарантировать выполнимость в любой модели всех выводимых утверждений интерпретируемой аксиоматической теории.

Модель структуры с определенными аксиомами определяется базисными множествами, на которых все предложения теории, принадлежащих интерпретациям основных отношений, оказываются истинными утверждениями. Под предложениями теории понимается любое утверждение (выводимая формула), не содержащее свободных переменных.

В данной постановке системой математического моделирования может быть сформировано множество моделей различного назначения. Различные представления и интерпретации приводят к формированию логико-алгебраических моделей различных классов с использованием методов символических исчислений.

Для организации баз знаний и банков данных экспертных систем, создаваемых на основе концепции средствами инструментальных систем, применяются методы и модели реляционной алгебры. В основе моделей реляционной алгебры (реляционной модели данных) лежит понятие отношений между данными, понятиями, которое, как правило, задается в виде таблицы. Реляционная модель данных представляет собой набор отношений, которые преобразуются, изменяются во времени; при этом образуются новые отношения в зависимости от запроса, содержащего требование сформулировать новое отношение (таблицу). В реляционной алгебре и реляционном исчислении имеется набор понятий и отношений, которые позволяют, во-первых, записывать любое отношение в виде некоторой формулы или формального выражения (α-выражения); во-вторых, производить преобразования отношений (α -выражений).

Таким образом, аксиоматический подход в построении концепции АТП позволяет специалисту в предметной области задавать необходимые факты (фактуальные знания) и использовать дедуктивный вывод для решения задач.

Наибольшее распространение аксиоматический подход применим к анализу технологических систем с непрерывными процессами, но в целом могут быть применены и для дискретных технологических систем. Если в дискретной технологической системе представить варианты технологических процессов изготовления какого-либо сложного технического объекта как множество путей от исходного к конечному (заданному) состоянию, то это и будет основой постановки оптимизационной задачи технологического проектирования. Если это пространство состояний возможно формировать формально, используя правила вывода, то достижимо построение имитационной модели. Итак, модель упрощенно можно рассматривать как возможность построения цепочек из элементов, в которых задано начальное и конечное состояния. Каждый из элементов модели в зависимости от составов предыдущих и последующих элементов меняет значение своих показателей, и это является основой для формирования оптимизационной задачи имитационного моделирования дискретного технологического процесса.

Для постановки задач технического прогноза можно предположить, что должны разрабатываться комплексные модели, целями моделирования по которым будет одновременно, как разработка сложных технических систем, так и создание систем их управления.

Таким образом, существует необходимость в едином методическом подходе к анализу надежности сложных технических систем, который рассматривает их как единое целое в виде комплекса взаимосвязанных показателей и в то же время позволяет использовать накопленный в этой области богатый теоретический и практический опыт расчетов на основе специализированных моделей.

Одним из наиболее перспективных подходов к решению данной проблемы является использование концепции межмодельного взаимодействия [1], естественным образом отражающего специфику комплексной организации и представления разнородных информационных моделей описания сложных технических систем на различных уровнях абстракции.

В данной работе предлагается использовать для задач априорного анализа надежности сложных радиоэлектронных средств методологию экспертных систем, ключевой особенностью которых является возможность моделирования процессов принятия решений специалистом в отдельной предметной области на основе определенным образом организованных профессиональных знаний.

Выделим ряд типовых взаимосвязанных задач по определению показателей надежности, последовательно решаемых на этапе проектирования произвольной технической системы:

выбор методики анализа надежности и соответствующей математической модели;

декомпозиция технической системы до уровня элементов, надежность которых является определенной, и разработка соответствующей структурной схемы надежности;

расчет показателей надежности системы по разработанной структурной схеме на основе выбранной математической модели;

анализ полученных результатов и принятие решения о соответствии надежности системы тому уровню, который определен в техническом задании на ее разработку.

В общем виде классификация критериев качества электронных систем может быть представлена так, как показано на рисунке 1.

Рисунок 1 - Критерии качества сложных электронных систем

Как видно из представленного рисунка, на надежность сложных электронных систем оказывают воздействие множество факторов, как субъективных, так и объективных, учесть совокупное влияние которых представляет сверхсложную научно-практическую задачу.

Увеличение количества элементов, усложнение структуры сложных электронных систем и их функционирования, быстрое моральное старение приводит к тому, что информация про надежность элементов СЭС быстро устаревает, либо даже не успевает появиться в виде справочников. Таким образом, традиционные методы моделирования надежности, основанные на информации о надежности элементов, не позволяют получить реально значимые оценки поведения систем в период эксплуатации.

Отметим основные причины отсутствия достоверной информации:

Наличие в СЭС уникальных компонентов с новыми элементами, оригинальными принципами конструирования, а иногда и условиями эксплуатации затрудняют определение их надежности.

Отсутствие статистически достоверной выборки по характеристикам надежности за счет уникальности вновь созданных компонентов.

Многие из СЭС в период эксплуатации продолжают находиться в стадии развития, получая модифицированные компоненты и подсистемы, что не позволяет оценить надежность для расчетных методов.

Отсутствует достоверная информация про надежность многих новых электро-радио-элементов (ЭРЭ). Наличие некоторых справочников ЦНИИ-22, Электростандарта, системы АСОНИКА и некоторых других не позволяет говорить о полноте справочной информации. Кроме этого многие параметры в справочниках не достоверны, не точны, или просто ошибочны.

Вслед за быстрым моральным старением СЭС также устаревают и справочные данные, например, за счет изменения условий эксплуатации.

Отсутствует возможность включения в современные системы моделирования надежности оценок надежности латентных дефектов, проявление которых во многих приложениях характеризуют некоторой средней вероятностью отказа, что значительно усложняет проблему прогнозирования надежности конкретной СЭС.

В теории надежности [2] сложных систем сложилось два принципиально разных подхода [3]: Элементный S – подход, модели надежности которого построены на основе системы и характеристик надежности ее элементов; функциональный F – подход, модели надежности которого построены на основе структуры выполняемых функций, т.е. на основе алгоритма функционирования системы. S – подход соответствует классической теории надежности систем [4, 5, 6], основными показателями которой является вероятность безотказной работы и коэффициент готовности. Как начальные данные для моделирования надежности используются вероятностно-временные характеристики отказов – случайных событий потери работоспособности. F – подход объединяет теорию надежности алгоритмов [7, 8, 9, 10, 11, 12], теорию надежности технологических процессов [13, 14]. По F – подходу обобщенным показателем надежности выступает вероятность достижения, которая для прикладных задач интерпретируется показателями безошибочности, бездефектности, достоверности, своевременности и т.п.

Доказано, что наиболее полно надежность систем можно описать на основе комбинации как S – подхода, так и F – подхода. Методы прогнозирования и обеспечения S надежности хорошо разработаны как в теоретическом, так и в прикладном аспектах. Значительно меньше исследована надежность в F – подходе, поэтому настоящая работа направлена именно на предложение новой методологии в решении задач прогнозирования и обеспечения надежности в условиях неопределенности начальных данных [14].

При проведении анализа, синтеза, диагностирования и адаптации СЭС возникает необходимость решения задач моделирования, оптимизации и идентификации надежности на основе множества разнообразных моделей (см. рис. 2).

Рисунок 2 – Модели анализа надежности СЭС

Задача моделирования состоит в расчете показателей безошибочности, своевременности, длительности и стоимости СЭС по ее структуре и с учетом надежности операций. Операции делятся на основные и вспомогательные. Без выполнения какой-либо основной операции невозможно достичь цели. Вспомогательные операции вводят в технологический процесс для улучшения его надежности.

Задача идентификации состоит в создании по результатам наблюдений математических моделей, связывающих факторы влияния с характеристиками надежности выполнения заданных функций.

Среди всех информационных технологий обеспечения надежности наиболее перспективными являются мягкие вычисления (*Soft Computing*) – симбиоз приближенных методов представления знаний и обработки данных для принятия рациональных решений по условиям частичной истинности, неточности, неопределенности и сложности реальных задач [14]. Мягкие вычисления за счет терпимости к частичной истинности, неточности, неопределенности и сложности реальных задач создают удобные механизмы принятия рациональных решений, и во многих практически значимых случаях являются единственным оправданным путем достижения цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юрков Н.К. Модели и алгоритмы управления интегрированными производственными комплексами. Монография/Н.К.Юрков//Пенза, ИИЦ, 2003, - 198 с.

2. Штовба, С.Д. Обеспечение надежности алгоритмических процессов методами софт-копьютиринга/С.Д. Штовба//Информационные технологии и компьютерная техника. Наукові праці ВНТУ, 2009, « 2. _ С. 1 – 8.

3. Губинский, А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. Л.: Наука. 1982. – 270 с.

4. Козлов, Б.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики/Б.А. Козлов, И.А.Ушаков//М.: Сов. Радио. 1975. -472 с.

5. Половко, А.М. Об одном методе оптимального использования алгоритмической избыточности/ А.М.Половко, С.В. Гуров//Автоматика и вычислительная техника. – 1975. - № 3. – С. 26-29.

6. Надежность технических систем. Справочник /Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др. Под ред. И.А. Ушакова// - М.: Сов. Радио. 1985. – 608 с.

7. Половко, А.М. Основы теории надежности. – / А.М.Половко, С.В. Гуров//СПб.: ВНУ, 2006. – 704 с.

8. Бондарь, Ю.В. Об одном методе оптимального использования алгоритмической избыточности/Ю.В. Бондарь, И.В.Сафонов //Автоматика и вычислительная техника. – 1975. – № 3. – С. 26-29. Пивоваров, А.Н. Методы обеспечения достоверности информации в АСУ. - М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.

9. Губинский, А.И., Евграфов, В.Г. Эргономическое проектирование судовых систем управления. Л.: Судостроение, 1977. – 224 с.

10. Зингер, Н.С. Обеспечение достоверности данных в автоматизированных системах управления производством/ Н.С. Зингер, И.В. Куцык// – М.: Наука, 1974. – 136 с.

10. Пивоваров, А.Н. Методы обеспечения достоверности информации в АСУ. - М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.

11. Ротштейн, А.П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. – Виница: Континент-ПРИМ, - 1997. – 142 с.

12. Юрков, Н.К. К проблеме обеспечения глобальной безопасности: Труды международного симпозиума Надежность и качество/Н.К.Юрков//Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, - 2012. - Том 1, - С. 6-8

13. Вигман, Б.А. Стохастические модели контроля/Б.А. Вигман//Управляющие системы и машины. – 1973. – № 2. – С. 112 – 115.

14. Юрков, Н.К. Оценка безопасности сложных технических систем/Н.К.Юрков//Надежность и качество сложных систем. – 2013, – № 2. – С. 15-21.

УДК 621.396.6

Жаднов В.В.

Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Москва, Россия

МОДЕЛЬ МАГИСТРАЛЬНО-МОДУЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЕГО НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СМЕШАННОМ РЕЗЕРВИРОВАНИИ ЕГО КАНАЛОВ

Рассмотрены вопросы формирования наработки до отказа многоканального преобразователя напряжения с магистрально-модульной архитектурой и смешанном резервированием его силовых каналов типа «N+1+K» при статистическом моделировании. Предложена формальная модель преобразователя со смешанном резервированием, которая позволяет получить реализацию наработки преобразователя с учетом отказов каналов в режимах работы и ожидания, а также отказов резервных каналов при их подключении. Разработанная модель создана в рамках допущений и ограничений, принятых в действующих нормативных документах. Показана возможность сокращения вычислительных затрат при применении этой модели при статистическом моделировании.

Ключевые слова:

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, СИЛОВОЙ КАНАЛ, НАДЕЖНОСТЬ, РЕЗЕРВИРОВАНИЕ, НАРАБОТКА НА ОТКАЗ, СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Введение

При проектировании изделий силовой электроники одной из задач является обеспечение требуемого уровня их надежности. Наряду с различными способами построения изделий силовой электроники, одним из наиболее часто применяемых в практике проектирования методов обеспечения требуемого уровня их безотказности, является резервирование. Так, в [1] показано, что для достижения высоких значений показателей безотказности многоканальные преобразователи напряжения должны быть выполнены на основе магистрально-модульной архитектуры, которая позволяет реализовать смешанное резервирование их силовых каналов (резервирование «*N*+1+*K*»).

На ранних этапах проектирования многоканальных преобразователей напряжения для оценки их показателей безотказности используются расчетные методы и программное обеспечение [2. 3]. Очевидно, что чем точнее будет расчетная оценка этих показателей, тем больше вероятность того, что созданный образец будет удовлетворять требованиям. Однако на практике часто ограничиваются получением «нижних» оценок показателей безотказности, что связано с ограничениями, присущими аналитическим методам [4].

В то же время, универсальным методом расчета показателей надежности электронных средств является метод статистического моделирования [5]. Этот метод применяют, в основном, для расчета показателей типа «наработка» (метод численного интегрирования). Для практической реализации этого метода созданы программные средства для имитационного моделирования, имеющие универсальные языки описания формальной модели, что позволяет существенно упростить создание программной модели, т.к. она генерируется автоматически [6-8]. Однако эти языки имеют ряд ограничений, например, в части возможности описания изменения параметров структурной схемы надежности (ССН) изделия при отказах составных частей, причем это относится не только к универсальным, но и специализированным языкам [9].

Поэтому при имитационном моделировании наработок изделий с «не типовыми» способами резервирования (в данном случае со смешанным резервированием «*N*+1+*K*»), имеющими специфические особенности, программную модель приходится создавать «вручную» на основе формальной модели.

Основная часть

На рис. 1 показана магистрально-модульная архитектура силовой части многоканального преобразователя напряжения с резервированием «*N* из *M*», приведенная в [1].

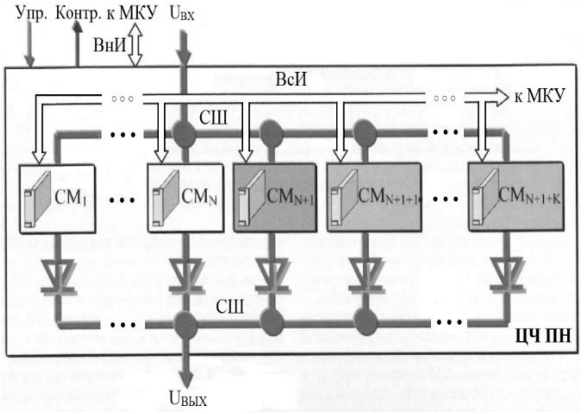


Рисунок 1 - Силовая часть преобразователя напряжения со скользящим нагруженным резервированием

Как видно из рис. 1 силовая часть преобразователя напряжения (СЧ ПН) содержит резервирование *N* основных силовых модулей ($СМ_1$-$СМ_N$), находящимся во включенном состоянии *K*+1 резервными модулями ($СМ_{N+1+1}$-$СМ_{N+1+K}$), находящимися в отключенном состоянии (*M*=*N*+*K*+1). Рассмотрим расчет надежности для такого способа резервирования (скользящее ненагруженное резервирование «*M* из *N*») по структурной схеме надежности (ССН), которая показана на рис. 2.

Методики расчета надежности аппаратуры по ССН приведены в стандарте [10]. Вероятность безотказной работы для ССН, показанной на рис. 2 определяются по формуле:

$$P(t)=\frac{\prod_{j=0}^{M-N}(N+j\cdot\alpha)}{\alpha^{(M-N)}\cdot(M-N)!}\cdot\sum_{i=0}^{M-N}\left[(-1)^i\cdot\frac{C_{(M-N)}^{i}}{N+j\cdot\alpha}\cdot\left(e^{-\Lambda\cdot t}\right)^{(N+j\cdot\alpha)}\right], \quad (1)$$

где C_M^i - число сочетаний; Λ - интенсивность отказов элемента нагруженном режиме; $\alpha=\Lambda_{ОР}/\Lambda$; $\Lambda_{ОР}$ -

интенсивность отказов элемента в облегченном режиме; t - время; N - количество основных элементов; M - общее число элементов.

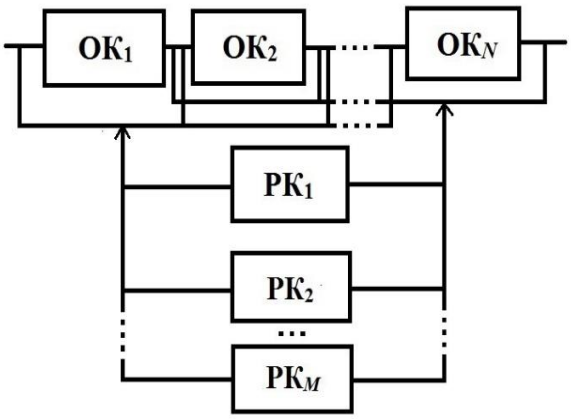


Рисунок 2 - Структурная схема надежности силовых каналов магистрально-модульного многоканального преобразователя напряжения

Заметим, что в методике расчета по ССН группы резервирования «N из M», приведенной в стандарте [10], вероятность безотказного включения резервного элемента ($P_{0вкл}$) принята равной 1. Если известно значение $P_{Овкл}$, то в этом случае формулу (1) можно представить в виде:

$$P = P(t) \cdot (P_{Овкл})^{(M-N)}, \quad (2)$$

где P - вероятность безотказной работы с учетом $P_{Овкл}$.

Кроме того, из (1) следует, что:

$$(e^{-\Lambda \cdot t})^{(N+j\cdot\alpha)} = e^{-N\cdot\Lambda\cdot t} \cdot e^{-j\cdot\Lambda_{ОР}\cdot t} = P^N \cdot (P_{ОР})^j \quad (3)$$

Как видно из (3) в методике расчета по ССН группы резервирования «N из M», приведенной в стандарте [10], вероятности безотказной работы в режиме ожидания ($P_{ОР}$) для каждого элемента ССН принимаются постоянными (не зависят от времен отказов основных элементов), что приводит к «нижней» оценке значения P.

В отличие от аналитических методов, метод статистического моделирования позволяет учитывать влияние времен отказов основных элементов на изменение характеристик надежности резервных при отказах.

Рассмотрим модель расчета вероятности безотказной работы для модели эксплуатации элемента «ожидание»-«работа»:

$$P(t) = P(t_{ОР}) \cdot P(t_{НР}) = e^{-\Lambda_{ОР}\cdot t_{ОР}} \cdot e^{-\Lambda_{НР}\cdot t_{НР}} = e^{-(\alpha\cdot\Lambda_{НР}\cdot t_{ОР} + \Lambda_{НР}\cdot t_{НР})} \Rightarrow t = \alpha \cdot t_{ОР} + t_{НР}, \quad (4)$$

где $\Lambda_{ОР}$, $\Lambda_{НР}$ - интенсивности отказов элемента в облегченном и нагруженном режимах; $\alpha=\Lambda_{ОР}/\Lambda_{НР}$; $t_{ОР}$, $t_{НР}$ - время работы элемента в облегченном и нагруженном режимах; $t=(t_{ОР}+t_{НР})$.

Для экспоненциальной модели отказов значение реализации наработки элемента ($\hat{t}$) рассчитывается по формуле:

$$\hat{t} = -\frac{ln(\hat{x})}{\Lambda} \Rightarrow \hat{t}_{ОЖ} = -\frac{ln(\hat{x})}{\Lambda_{ОЖ}} = \frac{\hat{t}}{\alpha}, \quad (5)$$

где $\hat{t}$, $\hat{t}_{ОЖ}$- реализации наработки элемента в режимах работы (нагруженном) и ожидания (облегченном); Λ, $\Lambda_{ОЖ}$ - интенсивности отказов элемента в режимах работы и ожидания; $\hat{x}$ - реализация БСВ.

Из (4) и (5) следует, что реализация наработки резервного элемента ($\hat{t}_P$), который в течении времени $t_{ОЖ}$ находился в режиме ожидания будет равна:

$$\hat{t}_P = \begin{cases} t_{ОЖ} + \hat{t} - t_{ОЖ}\cdot\alpha \text{ при } t_{ОЖ}\cdot\alpha < \hat{t} \\ \frac{\hat{t}}{\alpha} \text{ при } t_{ОЖ}\cdot\alpha \geq \hat{t} \end{cases}, \quad (6)$$

где $t_{ОЖ}\cdot\alpha \geq \hat{t}$ - условие отказа резервного элемента в режиме ожидания за время $t_{ОЖ}$.

Значения $\hat{t}$ используется для расчета реализации наработки резервированной группы ($\hat{t}_{ГР}$), а именно:

1. По формуле (5) рассчитываются реализации наработок элементов ($\hat{t}_m$) группы и формируется массив $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \ldots, \hat{t}_M$ ($\hat{t}_1, \hat{t}_2, \ldots, \hat{t}_N$ - основные элементы; $\hat{t}_{(M-N+1)}, \hat{t}_{(M-N+2)}, \ldots, \hat{t}_M$ - резервные);

2. По формуле (5) рассчитываются реализации наработок элементов ($\hat{t}_m$) группы и формируется массив $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \ldots, \hat{t}_M$ ($\hat{t}_1, \hat{t}_2, \ldots, \hat{t}_N$ - основные элементы; $\hat{t}_{(M-N+1)}, \hat{t}_{(M-N+2)}, \ldots, \hat{t}_M$ - резервные);

2. Определяется минимальное значение в массиве $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \ldots, \hat{t}_N$:

$$\hat{t}_l = \underset{n=\overline{1,N}}{min}(\hat{t}_1, \hat{t}_2, \ldots, \hat{t}_n, \ldots, \hat{t}_{N-1}, \hat{t}_N), \quad (7)$$

где l - номер элемента с минимальной наработкой.

3. Рассчитываются реализации наработки группы с учетом 1-го резервного элемента:

$$\hat{t}_{P_{(M-N+1)}} = \begin{cases} \hat{t}_l + \hat{t}_{(V-N+1)} - \hat{t}_l \cdot \alpha \text{ при } \hat{t}_l \cdot \alpha < \hat{t}_{(V-N+1)} \\ \hat{t}_l \text{ при } \hat{t}_l \cdot \alpha \geq \hat{t}_{(V-N+1)} \end{cases}, \quad (8)$$

4. Значение $\hat{t}_{P_{(M-N+1)}}$ присваивается тому элементу массива $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \ldots, \hat{t}_N$, который содержал значение $\hat{t}_l$.

5. Повторяются п.п. 2-4 для расчета реализации наработки группы с учетом 2, 3, …, (M-N) резервного элемента.

6. Определяется реализация наработки резервированной группы по формуле (7) - $\hat{t}_{ГР} = \hat{t}_l$.

Учет отказов резервных каналов при их включении в расчете $\hat{t}_P$ не представляет особых трудностей, т.к. для этого достаточно в массиве $\hat{t}_{(M-N+1)}, \hat{t}_{(M-N+2)}, \ldots, \hat{t}_M$ «обнулить» реализации наработок каналов, для которых выполняется условие:

$\hat{y}_i > P_{O_{ВКЛ}}$, (9)

где $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \ldots, \hat{y}_i, \ldots, \hat{y}_{(M-N)}$ - реализации БСВ.

Заметим, что для сокращения вычислительных затрат можно просто исключить эти элементы из числа резервных, тем самым сократив общее число элементов резервированной группы, для которых рассчитываются $\hat{t}$ [13].

Приведенные выше соотношения (5)-(9) будут использованы для разработки формальной модели наработки преобразователя напряжения со смешанным резервированием его силовых каналов типа «N+1+K».

Особенность этого способа резервирования СЧ ПН состоит в том, что подключение резервного канала (РК), находящегося в отключенном состоянии происходит не только в случае отказа одного из основных каналов (ОК), но и при отказе резервного канала ($РК_1$), находящегося во включенном состоянии (см. рис. 1).

Такое подключение резервных каналов обусловлено необходимостью обеспечения требуемого качества электроснабжения потребителей при отказах основных каналов [1].

ССН преобразователя в этом случае состоит из группы «скользящее нагруженное резервирование N из N+1», элементы которой резервируются K элементами, находящимися в режиме ожидания (см. рис. 3).

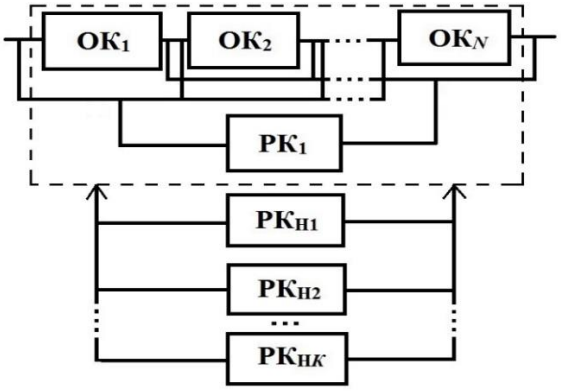


Рисунок 3 - Структурная схема надежности силовых каналов магистрально-модульного многоканального со смешанным резервированием типа «N+1+K»

Еще одной особенностью такого резервирования СЧ ПН является зависимость интенсивностей отказов ее каналов от нагрузки преобразователя [12, 13].

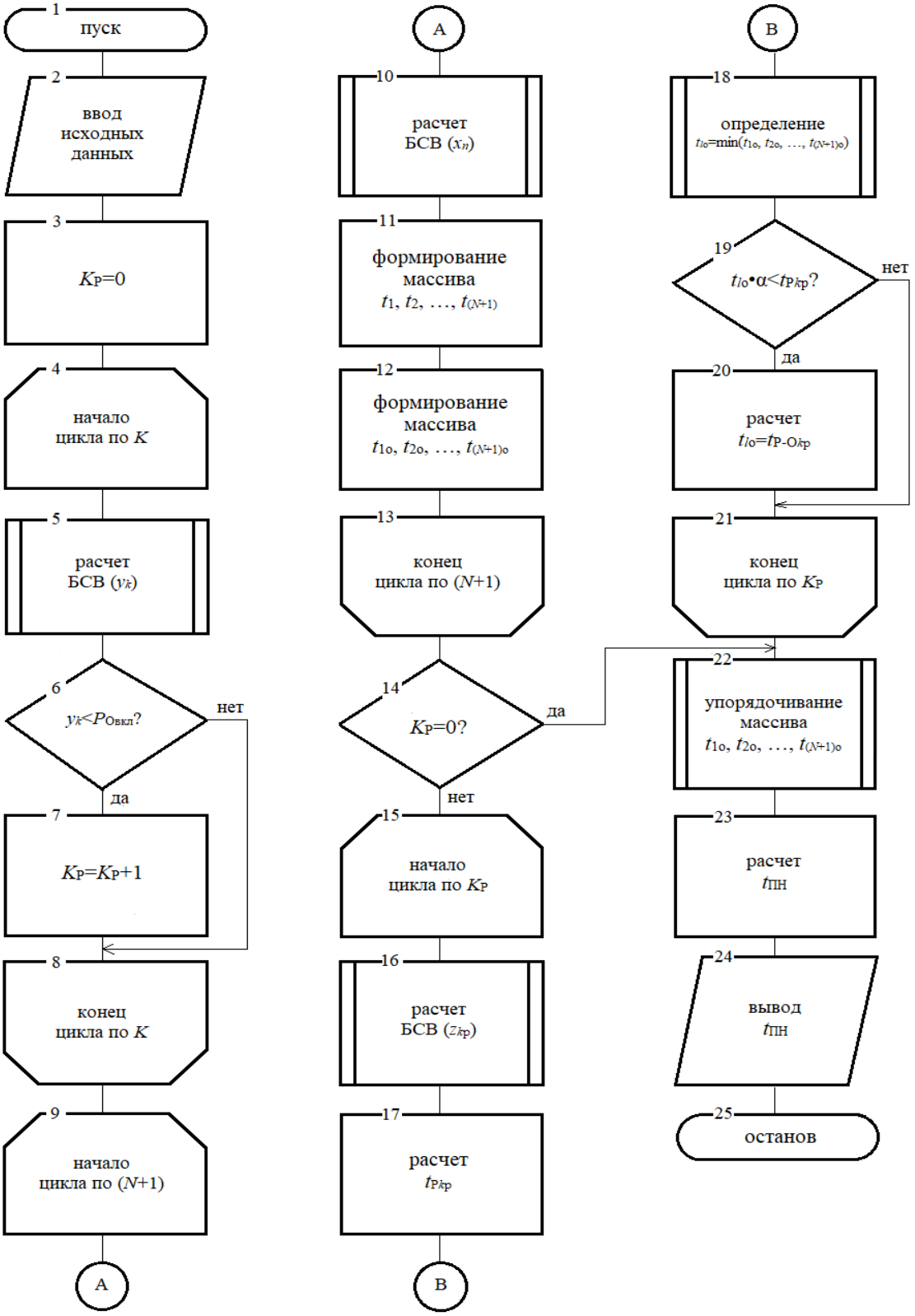


Рисунок 4 - Алгоритм расчета реализации наработки преобразователя напряжения

До тех пор, пока число работоспособных каналов будет не меньше, чем (N+1), мощность, которую находящийся в режиме работы канал отдает в нагрузку ($P_{СК0}$), будет равна [14]:

$$P_{СК_0} = \frac{N}{N+1} \cdot P_{СК_{ном}}. \quad (10)$$

где $P_{СКном}$ - номинальная мощность канала.

Тогда для этой мощности можно рассчитать интенсивность отказов каналов ($\Lambda_{СК0}$) по методике стандарта [10] и определить значение коэффициента β:

$$\beta = \frac{\Lambda_{СК_0}}{\Lambda_{СК_{НОМ}}}. \quad (11)$$

где $\Lambda_{СКном}$ - интенсивность отказов канала при номинальной нагрузке.

С учетом вышеизложенного расчет реализации наработки ($\hat{t}_{ГР}$) такой резервированной группы проводится следующим образом:

1. По формуле (11) рассчитывается значение коэффициента β.

2. По формуле (9) определяются номера ненагруженных резервных каналов, которые откажут при включении (исключают эти каналы из числа резервных) и вычисляют новое значение K_P:

$$K_P = K - k_O. \quad (12)$$

где k_O - количество отказов резервных каналов при подключении.

3. По формуле (5) для $\Lambda_{СКном}$ рассчитываются реализации наработок каналов ($\hat{t}_m$) СЧ ПН и формируется массивы $\hat{t}_1,\hat{t}_2,\ldots,\hat{t}_{(N+1)}$ и $\hat{t}_{P_1},\hat{t}_{P_2},\ldots,\hat{t}_{PK_P}$.

4. Используя массив $\hat{t}_1,\hat{t}_2,\ldots,\hat{t}_{(N+1)}$ и формулу (11) рассчитываются реализации наработок каналов ($\hat{t}_{m_O}$), находящихся в режиме работы, и формируется массив $\hat{t}_{1_O},\hat{t}_{2_O},\ldots,\hat{t}_{(N+1)_O}$:

$$\hat{t}_{m_O}=\frac{\hat{t}_m}{\beta}. \qquad (13)$$

5. По формуле (7) определяется минимальное значение в массиве $\hat{t}_{1_O},\hat{t}_{2_O},\ldots,\hat{t}_{(N+1)_O}$ - $\hat{t}_{l_O}$ (*l* - номер канала с минимальной наработкой).

6. Рассчитываются реализации наработки СЧ ПН с учетом 1 резервного канала:

$$\hat{t}_{\text{P-O}_1}=\begin{cases}\hat{t}_{l_O}+\frac{\hat{t}_{P_1}}{\beta}-\hat{t}_{l_O}\cdot\alpha \text{ при } \hat{t}_{l_O}\cdot\alpha<\hat{t}_{P_1}\\ \hat{t}_{l_O} \text{ при } \hat{t}_{l_O}\cdot\alpha\geq\hat{t}_{P_1}\end{cases}, \qquad (14)$$

7. Значение $\hat{t}_{\text{P-O}_1}$ присваивается тому элементу массива $\hat{t}_{1_O},\hat{t}_{2_O},\ldots,\hat{t}_{(N+1)_O}$, который содержал значение $\hat{t}_{l_O}$.

8. Повторяются п.п. 5-7 для расчета реализации наработки СЧ ПН с учетом 2, 3, …, K_P-го резервного канала.

9. Итоговый массив $\hat{t}_{1_O},\hat{t}_{2_O},\ldots,\hat{t}_{(N+1)_O}$ упорядочивается в порядке возрастания и формируется массив $\hat{t}_{1_y},\hat{t}_{2_y},\ldots,\hat{t}_{(N+1)_y}$.

10. Определяется реализация наработки ($\hat{t}_{\text{ПН}}$) СЧ ПН с учетом изменения нагрузки каналов:

$$\hat{t}_{\text{ПН}}=\hat{t}_{1_y}+\left(\hat{t}_{2_y}-\hat{t}_{1_y}\right)\cdot\beta, \qquad (15)$$

где $\hat{t}_{1_y}$, $\hat{t}_{2_y}$- реализации наработок.

Таким образом приведенные выше соотношения можно рассматривать как формальную модель СЧ ПН со смешанным резервированием силовых каналов типа «*N*+1+*K*».

Для создания программной модели (программного модуля) можно использовать алгоритм расчета $\hat{t}_{\text{ПН}}$, показанный на рис. 4.

В Блоках 1 и 2 (см. рис. 4) осуществляется запуск модуля по команде из программы имитационного моделирования и вводятся параметры формальной модели (*N*, *K*, $\Lambda_{СКном}$, α и β). В Блоках 3-8 определяются резервные каналы, которые отказывают при подключении. В Блоках 9-13 рассчитываются элементы массива $\hat{t}_1,\hat{t}_2,\ldots,\hat{t}_{(N+1)}$ по формуле (5) и элементы массива $\hat{t}_{1_O},\hat{t}_{2_O},\ldots,\hat{t}_{(N+1)_O}$ по формуле (13). В Блоке 14 осуществляется проверка наличия резервных каналов в режиме ожидания. В Блоках 15-21 рассчитываются наработки резервных каналов, находящихся в режиме ожидания, и формируется массив $\hat{t}_{1_O},\hat{t}_{2_O},\ldots,\hat{t}_{(N+1)_O}$. В Блоке 22 элементы массива $\hat{t}_{1_O},\hat{t}_{2_O},\ldots,\hat{t}_{(N+1)_O}$ упорядочиваются в порядке возрастания. В Блоке 23 по формуле (15) рассчитывается реализация наработки СЧ ПН. Блок 16 выводит это значение, а Блок 17 осуществляет завершение работы модуля и передает управление в программу имитационного моделирования [15].

Заключение

Таким образом, модель (15) позволяет проводить расчеты показателей безотказности резервированных многоканальных преобразователей (смешанное резервирование «*N*+1+*K*») с учетом изменения характеристик надежности их силовых каналов при отказах в режиме работы, отказов резервных каналов в режиме ожидания и отказов этих каналов при их подключении.

Вместе с тем следует отметить, что эффект от применения этой модели может быть получен только в том случае, если для силовых каналов существует возможность расчета $\Lambda_{СК0}$ (т.е. имеются исходные данные). На практике нередко такие данные отсутствуют, т.к. часто в качестве СК применяют готовые модули, для которых в ТУ приводятся характеристики надежности только для типовых (номинальных) режимов.

Кроме того, приведенная выше модель, как и любые другие модели, справедлива в рамках приведенных выше ограничений (экспоненциальная модель отказов каналов, точность расчета их интенсивностей отказов и др.). Поэтому результаты расчета показателей безотказности преобразователей, полученных с ее помощью, должны корректироваться по результатам испытаний и подконтрольной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Либенко Ю.Н., Четин А.Н. Пути повышения безотказности систем вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. // Электропитание. - 2010. - № 4. - с. 10-21.

2. Коваленко Г.Л., Кофанов Ю.Н., Жаднов В.В. Применение автоматизированной системы обеспечения надёжности и качества аппаратуры для проектных исследований безотказности ИВЭП. // Электронная техника. Серия: Радиодетали и компоненты. - 1990. - № 2(79). - с. 42-44.

3. Жаднов В.В. Автоматизация исследований безотказности источников вторичного электропитания. // Надежность и качество-2012: труды Международного симпозиума: в 2-х т. / Под ред. Н. К. Юркова. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2012 - 2 т. - с. 173-176.

4. Жаднов В.В., Жаднов И.В., Полесский С.Н. Современные проблемы автоматизации расчётов надёжности. // Надёжность. - 2007. - № 2. - с. 3-12.

5. ГОСТ 27.301-95. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.

6. Т. Шрайбер. Моделирование на GPSS. - М.: Машиностроение, 1980. - 592 с.

7. Боев В.Д. Моделирование в среде AnyLogic: учеб. пособие для вузов М.: Издательство Юрайт, 2018. - 298 с. - (Серия: Бакалавр. Прикладной курс).

8. Альсова О.К. Имитационное моделирование систем в среде ExtendSim: учеб. пособие для академического бакалавриата. - 2-е изд. - М.: Издательство Юрайт, 2018. - 115 с. - (Серия: Бакалавр. Академический курс).

9. Жаднов В.В., Тихменев А.Н. Имитационное моделирование в задачах оценки надежности отказоустойчивых электронных средств. // Надёжность. - 2013. - № 1. - с. 32-43.

10. ОСТ 4Г 0.012.242-84. Отраслевой стандарт. Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчета показателей надежности.

11. Надёжность ЭРИ: Справочник. - М.: МО РФ, 2006. - 641 с.

12. Жаднов В.В. Модель преобразователя напряжения с ротацией силовых каналов для расчета его наработки до отказа при статистическом моделировании. // Труды Международного симпозиума НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО. - Т. 1. - Пенза: Издательство ПГУ, 2019. - с. 18-23.

13. Лукина А.С., Целищев И.С. Учет отказов при ротации каналов в магистрально-модульных преобразователях напряжения. // Технологии информационного общества. Сборник трудов XIV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». (18-19 марта 2020 г. Москва, МТУСИ). - М.: ИД Медиа Паблишер, 2020. - с. 287-289.

14. V.V. Zhadnov. Model of Voltage Converter with Redundancy of Power Channels for Calculation of Its Operating Time in Statistical Modeling. // Information Innovative Technologies: Materials of the International scientific-practical conference / Ed. by S.U. Uvaysov, I. Ivanov. - M.: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2020. - p. 431-435.

15. A.S. Lukina, I.S. Tselischev. Development of a Software Model of Redundancy with Rotation for a Multi-Channel Voltage Converter. // Information Innovative Technologies: Materials of the International scientific-practical conference / Ed. by S.U. Uvaysov, I. Ivanov. - M.: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2020. - p. 99-106.

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ, КАЧЕСТВА, ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 629.783

Аппазова Ш., Ергалиев Д.С, Муканова К., Советкажиев А., Ракишев Ж.Б.

Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Республика Казахстан

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ

Управление движением космического аппарата является актуальной задачей и требует немалой работы для стабилизации и ориентации движения в полете. В данной статье рассматривается вопрос необходимости комбинирования систем стабилизации и ориентации летательных аппаратов в космосе, методы управления движением в полете.

Ключевые слова:

АКТИВНО-ПАССИВНАЯ СИСТЕМА, ГРАВИТАЦИОННЫЙ СТАБИЛИЗАТОР, МИКРО РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ОРИЕНТАЦИЯ, ВРАЩЕНИЕ

Введение. Одним из главных требований, предъявляемых к космическому аппарату (КА) является стабилизация его движения. Космический аппарат перемещаясь по траектории так или иначе поворачивается вокруг своего центра масс, т. е. изменяет свою ориентацию. Движение космического аппарата относительно центра масс (вращательное движение) происходит под действием уже знакомых нам природных сил - гравитационных, магнитных, сил сопротивления среды, светового давления. При этом оно оказывается гораздо более чувствительным к некоторым слабым внешним воздействиям, чем движение центра масс по траектории, которое вообще их не замечает. Известны случаи временной потери космическим аппаратом ориентации из-за удара микрометеорита, ничуть не сказавшегося на траектории.

Также многие задачи, возникающие при полетах, требуют целенаправленного поворота космического аппарата. Соответствующий процесс и есть ориентация и должен быть осуществлен путем воздействия управляющих моментов, создаваемых исполнительными органами системы ориентации космического аппарата. Из-за отсутствия внешней демпфирующей среды начавшееся при развороте вращение само по себе прекратиться не может. Поэтому во всех случаях, когда не ставится цель закрутки аппарата, это вращение должно начать тормозиться до заданного положения с помощью нового управляющего момента, создаваемого тем же или другим исполнительным органом.

Основная часть. Системы стабилизации и ориентации летательного аппарата можно разделить по характеру действия стабилизации на [1]:

-пассивные - те системы которые используют гравитационные и аэродинамические силы, стабилизацию вращением, стабилизацию давлением солнечных лучей;

-активные-те системы которые используют реактивные двигатели, двигатели-маховики, моментные магнитоприводы;

-активно-пассивные- это те системы которые используют различные комбинации активных и пассивных систем.

Для малых космических аппаратов активно-пассивная система предворительного успокоения , ориентации и стабилизации летательных аппаратов используются для создания многообещающих образцов наноспутников. Активно-пассивная система имеет как пассивную подсистему-грацитационный стабилизатор и как в виде активной имеет подсистемы микрореактивных двигателей.

Выбранная активно-пассивная система применяется для поддержания ориентации соответствующей оси аппарата на гравитационный центр планеты, также для поддержания трехосной системы ориентации КА. С помощью этой системы могут решаться задачи [2,3]:

предварительного успокоения аппарата после его отделения от ракеты носителя или разгонного блока,

переориентации гравитационно-устойчивого положения в другое.

Пассивная система – устроена из гироскопического стабилизатора и демпфера.

Активная подсистема-состоит из блока микрореактивного двигателя, который расположен в конце гравитационного стабилизатора, данная система показана на рис. 1.

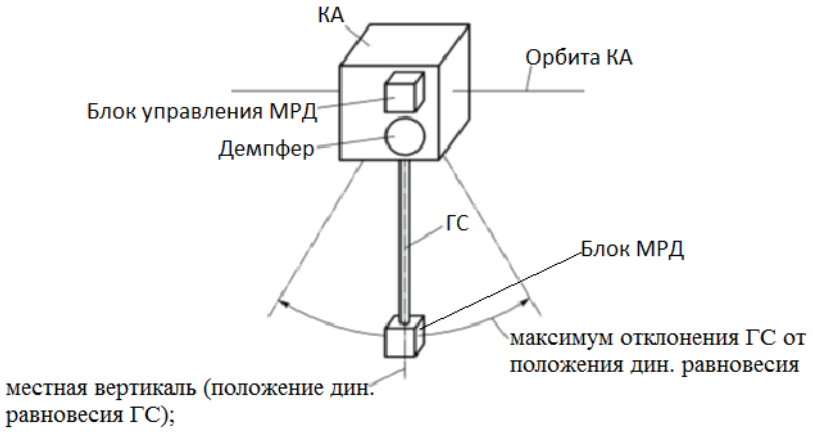
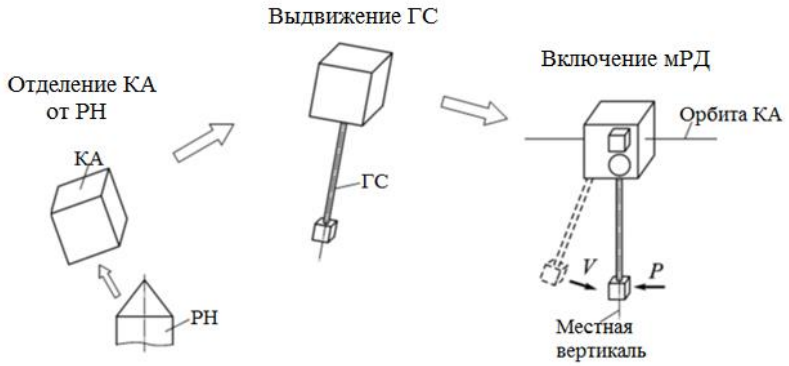


Рисунок 1 - Гравитационный стабилизатор

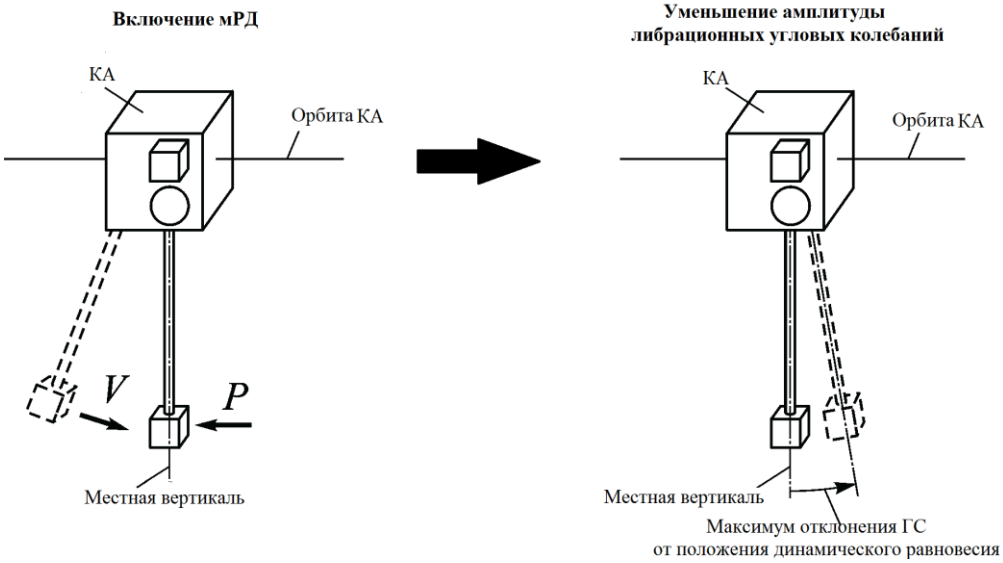
Рассматриваемая система позволяет малым КА, выполнить успокоение с помощью включения микро реактивного двигателя, который находится в конце гравитационного стабилизатора относительно центра масс спутника на рис. 2

На рис.3 показано, что применение МРД снижает амплитуду либрационных угловых колебании, повышает работу системы стабилизации, а главная ось инерции спутника может перейти из одного динамического положения в другое устойчивое-гравитационное положение, при моменте достижения максимального отклонения продольной оси штанги гравитационного стабилизатора. [4].

При новом гравитационно-устойчивом положении спутника, рассматриваемую активную систему можно использовать для стабилизации движения и ориентации космического аппарата в орбитальной системе координат. Для примера разберем угловое положение связанной системы координат относительно орбитальной при угловом движении спутника.



V-направление движения МРД
P-направление вектора тяги МРД
Рисунок 2 - Включение микро реактивных двигателей



V-направление движения МРД P-направление вектора тяги МРД
Рисунок 3 - Схема стабилизации космического аппарата

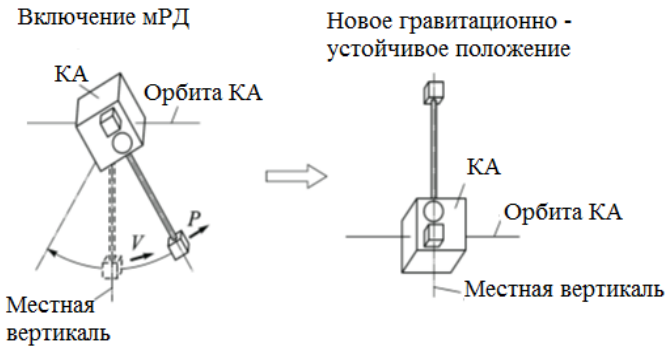


Рисунок 4 - Схема переориентации КА

Ориентацию осей *xyz* относительно орбитальных $x_0\ y_0\ z_0$ зададим тремя конечными поворотами в последовательности: тангаж ϑ (вокруг оси z), курс ψ (вокруг оси y), крен γ (вокруг оси x). Тогда кинематическое уравнение [4], определяющее связь проекции вектора угловой скорости КА $\vec{\omega}$ на связанные оси с производными углов конечных поворотов $\dot{\vartheta}$, $\dot{\psi}$, $\dot{\gamma}$, имеют вид

$$\omega_x = \dot{\gamma} - (\dot{\vartheta} - \omega_{орб})\ \sin\psi,$$
$$\omega_y = \dot{\psi}\ \cos\gamma + (\dot{\vartheta} - \omega_{орб})\ \sin\gamma\ \cos\psi,$$
$$\omega_z = (\dot{\vartheta} - \omega_{орб})\ \cos\gamma\ \cos\psi - \dot{\psi}\ \sin\gamma,$$

где $\omega_{орб}$ — орбитальная угловая скорость КА.

Динамика вращательных движений КА относительно центра масс в соответствии с основной теоремой механики об изменении кинетического момента описывается векторным уравнением [5,6], для движения в связанных осях xyz:

$$\frac{d\vec{H}}{dt} + \vec{\omega} * \vec{H} = \vec{M} \qquad (1)$$

$\vec{H}$ – вектор кинетического момента, он равен:

$$\vec{H} = J * \vec{\omega}$$

где J- тензор инерции.

$\vec{M}$ – главный момент внешних сил, $\vec{\omega}$ - угловая скорость КА.

Используя (1) уравнение можем получить уравнения динамики вращательного движения КА в проекциях на оси связанной СК, при условии, что распределение масс КА не изменяется по времени и главные оси инерции КА совпадают со связанными осями координат аппарата, то получим уравнения углового движения КА относительно центра масс – уравнения Эйлера [7].

$$\begin{aligned} J_x\dot{\omega}_x + (J_z - J_y)\omega_z\omega_y &= M_x \\ J_y\dot{\omega}_y + (J_x - J_z)\omega_x\omega_z &= M_y \\ J_z\dot{\omega}_z + (J_y - J_x)\omega_x\omega_y &= M_z \end{aligned} \qquad (2)$$

Вектор $\vec{M}$ – комбинация многих моментов внешних сил на спутник, во время полете:

$$\vec{M} = \vec{M}_{реак} + \vec{M}_{аэрод} + \vec{M}_{солн} + \vec{M}_{магн} + \vec{M}_{грав} + \vec{M}_{пр}$$

где $\vec{M}_{\text{реак}}$-момент реактивных сил при отбросе масс (например момент от реактивных двигателей); $\vec{M}_{\text{аэрод}}$-аэродинамический момент; $\vec{M}_{\text{солн}}$-момент от сил светового давления; $\vec{M}_{\text{магн}}$-момент от взаимодействия с магнитным полем планеты; $\vec{M}_{\text{грав}}$-гравитационный момент; $\vec{M}_{\text{пр}}$-прочие моменты (момент при столкновении с различными метеорами).

Во время движения центра масс КА, эксцентриситет орбиты $e = \frac{c}{a}$, при e=0-орбита круговая, при $0 < e < 1$- эллиптическая. Но при $e \le 0{,}355$ обеспечивается устойчивость с гравитационной системой ориентации [8]. Учитывая полученные параметры эксцентриситета и фокальный параметр орбиты, уравнения движения центра масс КА по орбите будет ввиде:

$$r = \frac{p}{1+e\cos E} \qquad (3)$$

E-угол истинной аномалии. Если к уравнениям движения центра масс аппарата необходимо добавить уравнение скорости изменения угла истинной аномалии, а также связь этого угла с орбитальной угловой скоростью $\dot{E} = \frac{\sqrt{\mu p}}{r^2}$, то наше (3) уравнение орбитального движения центра масс аппарата будет иметь вид:

$$\dot{E} = \frac{\sqrt{\mu}}{p^{\frac{3}{2}}}(1 + e\cos E)^2$$

$$\omega_{\text{орб}} = \dot{E}$$

с течением времени при действующих управляющих силах движение тела замедляется и, в конце концов, оно стабилизируется. Стабилизация достигается работой блока управления датчиков углов и датчиков угловых скоростей

Заключение. Описанные системы стабилизации и ориентации летательных аппаратов, относятся не только на обьекты которые летают на небе, но и в космическом пространстве. А комбинированность систем в данном случае с использованием формул для расчета нужного количества микрореактивных двигателей, а также с уравнениями динамики вращательных движений космического аппарата относительно центра масс, значительно повышают стабилизацию и ориентацию летательного аппарата при полете, и позволяют существенно улучшить показатели предварительного успокоения. Кроме того дает возможность упростить систему управления космическим аппаратом [9,10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Л. Черноусько, Л. Д. Акуленко, Д. Д. Лещенко. Эволюция движений твердого тела относительно центра масс. М.: Ижевск 2015. -147 с

2. Korolev V.S., Pototskaya I.Yu. Integration of dynamical systems and stability of solution on a part of the variables // Applied Mathematical Sciences, vol. 9 (15), 2015, P. 721–728.

3. Поляхова Е.Н., Королев В.С. Задачи управления космическим аппаратом с солнечным парусом // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. LV междунар. науч.-практ. конф. № 2(50). – Новосибирск: СибАК, 2016. – С. 18-31.

4. Zhang M.,Yin L., Qiao L. Adaptive fault tolerant attitude control for cube satellite in low orbit based on dynamic neural network // International journal of innovating computing, information and control/-2014/-Vol.10, №5. – P.1843-1852.

5. Попов В.В. Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов. –2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.

6. Архангельский Ю.А. Аналитическая динамика твердого тела. М.: Наука, 1977. 328 с.

УДК 618.614

Полтавский А.В., Юрков Н.К., Федянина В.А.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ЭНТРОПИЙНОГО АНАЛИЗА ПЕРЕДАЧИ СИМВОЛОВ И ЗНАКОВ В СЕТЕВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Язык – это многосвязная система из символов, знаков, сообщений, сигналов и множества связей между ними в многомерном потоке данных и спектре лингвистической информации для электронных сетевых переводчиков информационных систем. В процессе передачи информации в сетевых структурах вычислительных систем, в частности, анализа различных текстовых переводов, а также речевых сообщений, возможна утрата, потеря или искажение ее части В работе представлены формализованная модель и один из подходов к энтропийному анализу знаковых систем и символьной информации в сетевых структурах для формирования современных информационно-аналитических проектов. Приводится алгоритм по оценке качества преобразования информации в компьютерной сети на основе основных положений и понятия энтропии по теоремам Кл. Шеннона. Полученный технологический и технический результат на основе вычислительного эксперимента в этом случайном процессе достигается не только за счет предложенных информационных моделей для математического аппарата, но и включением в информационный процесс сетевых вычислительных ресурсов.

Ключевые слова:

ЯЗЫК, ЗНАКОВАЯ СИСТЕМА, КАНАЛ СВЯЗИ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА, МОДЕЛЬ, ИНФОРМАЦИЯ, АЛГОРИТМЫ, ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, СВЯЗЬ, ЭНТРОПИЯ, СИМВОЛ, ЛИНГВИСТИКА, ИДЕНТИФИКАЦИЯ, ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Введение

В процессе эволюции и повышения уровня информатизации человеческого общества, а также развития прикладных программно-аппаратных средств для сетевых вычислительных систем (ВС), телекоммуникационных и информационных технологий в целях обеспечения требуемых (заданных или желаемых) траекторий образования на всех уровнях, находят дидактические проектно-ориентированные методы, модели, средства и новые формы для их достижения. В этом эволюционном информационном процессе все большое значение приобретают «цифровые» инновационные проекты и технологии, направленные на создание автоматизированных процедур с разработкой новых адаптивных алгоритмов для сетевых информационных систем (ИС) и информационно-аналитических систем (ИАС), которые также должны учитывать неопределенность - энтропийные составляющие для передачи и обработки информации по различным каналам связи. Данное обстоятельство, а также и сам такой случайный (стохастический) процесс непосредственно связаны с потерей качества передачи информации по каналу связи и управления в сетевых ИС и ИАС , которая может быть утрачена, частично утеряна или преобразована (получила недопустимое ее искажение) с большими ошибками [1,2].

Большинство разрабатываемых и вновь создаваемых, как и прежде, сетевых объектов ИС и ИАС, исторически и изначально ориентированы на математическую обработку информации в символьной форме. Особенным в данном процессе является то, что для обеспечения желаемого уровня качества обработки информации и идентификации текстовых сообщений, является преобразование информации с помощью программ текстовых переводчиков с одного языка на другой. Эти модели, алгоритмы и программы являются достижением для всей вычислительной техники. В процессе эволюции они впервые появились в Нью-Йорке (в 1954 г.), когда была проведена первая публичная демонстрация перевода с русского языка на английский с помощью первых вычислительных систем, в частности, с помощью цифровой электронной вычислительной машины ИБМ-701. Для проведения испытаний (постановки вычислительного эксперимента) автоматического перевода текста был подготовлен словарь объемом в 250 русских слов, часто применяемых в области

политики, юстиции и математики, записанных латинскими буквами. Слова для их математической обработки в ЭВМ были подобраны так, чтобы каждое русское слово имело один или два английских эквивалента. Каждому слову из разработанной программы были приписаны в электронном словаре три цифровых дополнительных кода (см. табл. 1). Программа машинного перевода символов и слов подготовленного текста, для первых цифровых ЭВМ ИБМ-701 содержала всего 2400 одноадресных команд, была затем введена непосредственно в электронную цифровую вычислительную машину [3-5].

Таблица кодов русских и английских слов электронного словаря ЭВМ *Таблица* 1

Русские слова	Английский эквивалент 1	Английский эквивалент 2	Коды 1	Коды 2	Коды 3
1	2	3	4	5	6
К	to	for	121	000	23
Кислород	oxygen	-	000	000	00
Лишен	deprival	-	000	222	00
Материал	material	-	000	000	00
Мы	we	-	000	000	23
Мысли	thoughts	-	000	000	00
Много	many	-	000	000	00
Медь	copper	-	000	000	21
Место	place	site	151	000	23
Механический	mechanical	-	000	242	00
Международный	international	-	000	000	00
На	on	for	121	000	00
Нападение	attack	attacks	121	000	00
Наука	a science	-	000	242	00
Обработка	prosessing	-	000	000	00
Объект	objective	objectives	121	000	00
Офицер	an officer	then officer	000	000	00
Ого	of	-	131	000	23
Он	by	-	131	000	00
Определяет	determines	-	000	000	00
Определяется	is determined	-	000	000	00
Оптический	optical	-	000	000	00
Орудие	gun	-	000	241	00
Отдел	section	-	000	000	00
Отделение	division	squad	121	242	00
Отношение	relation	then relation	151	000	00

Далее, после этого, в цифровую электронную вычислительную машину вводились слова для русских предложений, непосредственно подлежащие переводу в ЭВМ. Предложения текста пробивались непосредственно на перфокартах стандартным для машины цифровым кодом, а для ввода переводимого текста в цифровую вычислительную машину каждая буква из латинского алфавита заменялась определенным набором цифр. При этом каждое английское слово заменялось соответствующим ему условным числом (цифровым кодом). Следует отметить, что и аналогичные работы в области машинных переводов прикладной математической лингвистики велись и в нашей стране. В те, как условно далекие, годы в Институте точной механики и вычислительной техники АН СССР при составлении алгоритма и программы для перевода с английского языка на русский, произведенного на вычислительной машине БЭСМ-1, был избран иной путь, состоящий в воспроизведении работы, выполняемой непосредственно самим переводчиком текста. Эта «лингвистическая» работа по переводу текстовой информации с помощью компьютера составила следующие основные алгоритмические этапы:

чтение английской фразы, непосредственно подлежащей переводу в ЭВМ;

выявление тех слов переводимой фразы, которые были знакомы переводчику. Выяснение некоторых грамматических признаков этих слов как по их окончаниям, так и путем сопоставления их друг с другом и с остальными словами фразы.

Для опытов автоматического перевода на вычислительной машине БЭСМ-1 был составлен словарь из 952 английских и 1073 русских слов. В общую программу входили подпрограммы «синтаксиса» и «изменение порядка слов». Первая из них расставляла знаки препинания, а вторая изменяла в русской фразе расположение слов непосредственно по правилам русской грамматики. Работа цифровых вычислительных систем и ЭВМ первых поколений в условиях неопределенности внешней среды, а также вероятностного характера математической обработки информации (сбои, внутренние и внешние помехи ЭВМ влияют на точность проводимых вычислений) порождала сложности. С развитием средств телекоммуникаций ВС и алгоритмов программных средств идентификации текстовых сообщений преобразуются и методы их создания. Современные программы-переводчики глобальных, региональных и локальных ИС имеют широкие возможности в оценках показателей качества передаваемой информации, в том числе, и с учетом ее энтропийного анализа. Методы теории вероятностей и формулы математической статистики все чаще применяется в компьютерной лингвистике. Один из подходов для системного анализа был основан на общем понятии об энтропии информационного процесса и теореме Кл. Шеннона [2]. Аналогичный подход в оценках вероятностных характеристик и получения количественных значений энтропии для анализа потоков (из корпусов) символьной информации приводится и нашими отечественными учеными: академиками В.С. Пугачевым [1], А.А. Дородницыным, Л.Н. Столяровым и др.

Алгоритмизация сетевой информационной системы энтропийного анализа

Основоположник теории информации Клод Шеннон определил синтаксическую меру информации. Им было показано, что объем данных $V_д$ в сообщении измеряется количеством символов в текстах. В различных системах счисления один разряд имеет свой различный вес и, соответственно, меняется и сама единица измерения информации [1-5]:

– в двоичной системе счисления единица измерения – бит (*bit – binary digit* – двоичный разряд (код одного символа в памяти машины занимает 1 байт);

– в десятичной СС единица измерения–дит (*dit – decimal digit* – дес. разряд).

Количество информации (энтропию) на синтаксическом уровне невозможно определить без рассмотрения понятия о неопределенности состояния системы. Сам термин «энтропия» используется Кл. Шенноном по совету фон Неймана. Получение информации о какой-либо системе (или процессе) всегда будет связано с изменением степени неосведомленности получателя о состоянии этой системы (и/или протекающего информационного процесса). Покажем это.

Пусть до получения информации ее потребитель имеет предварительные (априорные) сведения о системе (или процессе) α. Мерой его неосведомленности о системе [2] является некоторая функция

$H(\alpha)$, которая служит мерой о неопределенности состояния системы. После получения некоторого сообщения β его получатель приобрел дополнительную информацию $H_\beta(\alpha)$, уменьшившую априорную неопределенность так, что апостериорная (после получения сообщения β) неопределенность состояния стала $I_\beta(\alpha)$. Тогда количество информации $I_\beta(\alpha)$ о системе, полученной в сообщении β, определится из формулы для разности $H_\beta(\alpha) = H(\alpha) - H_\beta(\alpha)$, т. е. количество информации *измеряется* уменьшением неопределенности о состоянии системы (информационного процесса). Информация – это противоположность неопределенности. Энтропия (как неопределенность) системы $H(\alpha)$, имеющая N состояний, может рассматриваться как мера недостающей информации по формуле Кл. Шеннона. Теоретические основы по разработке алгоритмов в идентификации текстовых сообщений для сетевой информационной системы базируются на их моделях. Рассмотрим информационную модель. Пусть первичный источник (пусть это будет автор текста) текстовых сообщений передает последовательность из символов x, каждому из которой соответствует вероятность [1-4] P ($\{x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n\} \rightarrow P(x_1), P(x_2), P(x_3), \ldots, P(x_n)$. После прохождения по каналу передачи информации (по каналу связи сетевой ИС) и ошибками перевода (изменение текстов) получим символы y и их вероятности появления $P(y_i)$. Обозначим через $P_i(j)$ вероятность того, что при передаче некоторого символа x под действием ошибок (помех сети ИС естественной и искусственной природы) возникает символ y_i, а через $P(i,j)$ – вероятность совместного появления символа x_i при передаче, а y_i при идентификации в сетевой ИС. Тогда, согласно основным положениям из теории вероятностей получим следующую запись [1,2,5-8]:

$$P(i,j) = P_i P_i(j), P_i = \sum_{(j)} P(i,j). \quad (1)$$

Обозначим энтропию передачи сообщения на входе (и прием на выходе) сетевой ИС

$$H(x) = -\sum_{(i)} P_I \log_2 P_i ; H(y) = -\sum_j P_{y(i)} \log_2 P_{y(i)}. \quad (2)$$

В отсутствии ошибок (или помех) распределение вероятностей символов x и y одинаково, тогда имеем $H(x) = H(y)$. Обозначим $H(x,y) = f(P(i,j)$ энтропию сообщения из множества передаваемых и принимаемых для идентификации (обработки информации в ИС) символов

$$H(x,y) = -\sum_{(i,j)} P(i,j) \log_2 \quad P(i,j), \quad (3)$$

используя формулу (1), получим очередное выражение для построения алгоритма и програ-ммы энтропийного анализа текстовой информации на основе сетевой ИС [1,7]

$$H(x,y) = -\sum_{(i)} \sum_{(j)} P_i P_i(j)[\log_2 P_i + \log_2 P_i(j)] =$$
$$-\sum_{(i)} P_i \log_2 P_i \sum_{(j)} P_i(j) - \sum_{(i)} P_i \sum_{(j)} P_i(j) \log_2 P_i(j). \quad (4)$$

Введем обозначение$H_i(y) = -\sum_{(j)} P_i(j) \log_2 P_i(j)$, выражение назовем условной энтропией на выходе канала передачи (преобразования) информации сетевой ИС, т. е. условной энтропией совокупности (в виде множества) принимаемых символов, при условии передачи по каналу связи и передачи информации x_i.

Учитывая формулы (2) и (4), а также принимая $\sum_{(j)} P_i(j) = 1$, из формулы (4) получим:

$$H(x,y) = H(x) + \sum_{(i)} P_i H_i(y). \quad (5)$$

В формуле (5) второе слагаемое можно рассматривать как математическое ожидание $H_i(y)$, вычисленное для совокупности (или множества) передаваемых символов в текстовом сообщении по каналу связи. Обозначая эту величину как $H_x(y)$, получим очередную формулу

$$H(x,y) = H(x) + H_x(y) = H(y) + H_y(x). \quad (6)$$

Энтропия $H_y(x)$ в ИС характеризует среднюю неопределенность принимаемых сообщений или потерю информации, вызванную наличием ошибок (учитываемые помехи сетевой ИС). При полном отсутствии ошибок передачи сообщения из множества символов вероятность $P(i,j) = 0$, тогда $H_y(x) = -\sum_{(i,j)} P(i,j) \log_2 \quad P_i(i) = 0$ и энтропия характеризует, что соблюдается условное «идеальное равновесие» и равенство как $H(x,y) = H(y) = H(x)$. Источники текстовых сообщений, у которых отсутствует корелятивная связь, называют эргодическими, а выдаваемые ими последовательности (множества) символов называют эргодическими последовательностями. Для эргодического источника сообщений существует конечное число состояний, в которых он может находится, причем условная вероятность появления очередного символа зависит от того, в каком состоянии находится в этот момент источник. Кроме понятия энтропии на символ текста в ИС имеет место и понятие поток информации – это скорость сообщений как энтропия источника, приходящаяся на единицу времени [1,2,8]

$$H'(x) = \frac{H(x)}{\bar{\tau}}, \quad (7)$$

где $\bar{\tau}$ - средняя длительность символа в секундах.

Заключение

Эволюционный процесс сегодня также рассматривается с позиций информационного. Появилось множество цифровых ЭВМ, прикладных программ и аппаратно-технических средств его реализации. Естественно, что такой информационный аспект и процесс, не мог не коснутся и современного общества, в том числе, образовательной среды. Информатизация образования – это непрерывный управляемый процесс обеспечения системы образования методами и средствами современных информационных технологий. Наблюдаемая эволюция [4-10] применяемых в образовательном процессе различных видов ИС (мониторинговых, фактографических, документальных, экспертных, информационно-аналитических и др.) направлена на широкий охват средств и методов информационного управления в обществе. При этом, защита информации в компьютерной сети ИС и ИАС – это вынужденные меры, направленные против несанкционированного доступа, прежде всего, к данным, хранящейся в памяти компьютера. Одним из основных способов защиты данных, хранящихся в сетевых ВС, является использование символов для паролей, которые в итоге, имеют цифровой код. Эффективными методами защиты информации в сетевых ВС являются методы, основанные на различных подходах криптографии, они включают комплекс алгоритмов преобразования информации, обеспечивающие скрытность из смыслового содержания данных. К защите информации можно также отнести организацию учета потери информации в процессе ее преобразования и передачи по каналам сетевой ВС. Современные телекоммуникационные и программные средства ИС и ИАС для текстовых переводов с одного языка на другой имеют различный уровень по точности [9]. Работы в этом направлении и над «приемлемыми» в сети алгоритмами их идентификации – актуальная проблема информационного обеспечения в достижении желаемого уровня и траектории решения поставленных задач по обработке потоков лингвистической информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М., «Наука», 1962.

2. Шеннон К.Э. Работы по теории информации и кибернетике (с предисловием академика А.Н. Колмогорова). Издательство иностранной литературы, 1963 г. – М.: – С. 824.

3. Полтавский А.В. Программные средства вычислительных систем. Часть I. ЭВМ первых поколений. Учебное пособие. – М.: МГПУ, 2014 – 87 с.

4. Полтавский А.В. Программные средства вычислительных систем. Часть II. ЭВМ третьего и четвертого поколений. Учебное пособие. – М.: МГПУ, 2016 – 96 с.

5. Полтавский А.В. Основы математической обработки информации вычислительных систем. Учебное пособие. – М.: МГПУ, 2017 – 97 с.

6. Полтавский А.В. [и др.]. Устройство для оценки качества обучения работе с компьютером. Патент РФ № 2330323, кл. МПК G06F 17/18- 2008.
7. И.И. Кочегаров, А.В. Полтавский, Н.К. Юрков. Эволюция вычислительных систем. Учебное пособие.– Пенза.: Издательство ПГУ, 2015 – 124 с.
8. Патент на изобретение № 2568272 «Устройство содержательного анализа текстовой информации». Авторы и патентообладатель (ли): Полтавский А.В. [и др.]. Зарегистрирован от 16.10.2015 г.
9. Полтавский А.В., Федянина В.А. Информационная модель случайного процесса // Информационные войны. 2018. №3 (47). С. 98-101.
10. Юрков Н.К., Русяева Е.Ю., Полтавский А.В. Взгляд на теорию алгоритмов с позиций философии. Надежность и качество сложных систем. 2014. № 2 (6). С. 40-45.
11. www.wicipedia.org
12. www.intuit.ru «Введение в математику»
13. www.intuit.ru/ «Основы сетей передачи данных»
14. www.intuit.ru/ «Работа в программе Microsoft Word XP»
15. www.intuit.ru/ «Работа в программе Microsoft Excel XP»
16. www.intuit.ru/ «Офисное программирование»
17. www.intuit.ru/ «Основы теории вероятности»
18. www.intuit.ru/ «Введение в HTML»
19. www.intuit.ru/ «Основы XML»
20. www.intuit.ru/ «Основы информационной безопасности»

УДК 536.24

Соловьев В.А., Суров П.В., Сурова Е.Э.
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

В материале статьи рассматриваются способы определения теплового режима электронных компонентов печатных плат. Также детально рассмотрена сущность теплового баланса этих компонентов и разъемов. Исходя из основании положений метода конечных разностей, была составлена последовательность исчисления температур корпусов компонентов. Дополнительно представлена другая последовательность– исчисления теплового режима авторским способом. Итоговые данные авторского расчета сопоставлены и сравнены с расчетом на модели, которая осуществляет аналитический метод.

Ключевые слова:
ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА, ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, МЕТОД КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ, ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ

Введение

Во время разработки электронной аппаратуры (далее – ЭА) тепловой режим (далее – ТР) исчисляется с помощью средств поэтапного построения модели [1]. На текущий момент в большинстве устройств реализуется такое решение, когда печатные платы (далее – ПП) ориентированы перпендикулярно общей ПП, так называемой кроссплате (далее - КП), тем самым формируя пространство для беспрепятственной циркуляции воздуха в процессе вентиляции. ПП объединяются с КП коммутационными разъемами(далее – КР) [2].

Исходя из конструктивного уровня элемента применяют те или иные степени детализации в процессе моделирования ТР [3-7]. Вначале проводят расчеты для определения средней температуры корпуса и области нагрева. Далее определяют скорость движения и температуру циркулирующего воздуха в каждом из каналов, также находят значения температур ПП.

Результаты, которые можно получить таким образом, являются своего рода начальными данными при определении температуры электронных компонентов (далее – ЭК) на конкретной ПП. Метод определения их нагрева, описанный в [1], включает ориентировочные аналитические решения и значения для промежуточных величин, по причине чего в определенной степени возрастает погрешность итоговых результатов.

1. Анализ допущений, принимаемых в процессе расчета

Принимаем, что температуры воздуха в каналах, окружающих ПП, известны и имеют линейный закон изменения вдоль вертикальной оси. Вдобавок принимаем, что известными являются средние поверхностные температуры расположенных рядом с рассчитываемой платой КП, ЭА, скорость движения воздуха. ПП и размещенные на поверхностях ЭК обмениваются лучистой энергией с расположенными рядом ПП, а также с корпусом. Охлаждение компонентов осуществляется посредством струйной передачи энергии в каналах. Доля тепла, выделяющаяся компонентами, способствует увеличению температуры ПП. Тепловое сопротивление ПП и ЭК во многом зависит от метода монтажа компонента. Передача тепла между ПП и КП осуществляется посредством соединительных разъемов путем теплопередачи.

Допущения, применяемые к тепловой модели:

- ПП имеет одинаковые свойства по параллельным направлениям и неодинаковыми по непараллельным, ее тепловое поле меняется в направлении вертикальной и горизонтальной координаты, перепад по толщине игнорируем;
- коэффициент конвективного теплообмена от ПП к воздуху в канале ПП в принятом случае зависит от высоты;
- температура компонентов принимается в качестве средней по поверхности для его корпуса в целом;
- поток тепла от компонентов к ПП распределяется равномерно по площади крепления;
- коэффициент лучистого теплообмена на сторонах ПП определяется в качестве среднего по поверхности;
- скорость движения воздуха неизменна, температура имеет линейный закон изменения на участке вход-выход.

2. Методика расчета тепловых режимов

В целях поиска значения проводимостей [2-5] между компонентами и ПП, а также конвективные проводимости тепла между ЭК, ПП и воздушным потоком, нужно учитывать их температуру. Ее значения для компонентов – это буквально искомое, значит, найти решение можно исключительно итерационным методом.

Тепло, которое выделяет электронный компонент, уносит воздух и лучистый поток, оно распределяется между другими компонентами благодаря способности ПП проводить тепло.

Следовательно, чтобы определить особенности тепловой связи компонентов, требуется определить температурное поле ПП.

Чтобы найти температурное поле ПП в обход названого ранее метода [1], использовался численный метод [8-11], в частности, конечно-разностный, а ПП была разбита на n прямоугольных ячеек (рис. 1). Число узлов по X примем в качестве M_X, поY–M_Y. Совокупное кол-во – M_C. Ячейка ПП обладает тепловой связью с компонентом.

Для всех узлов и ЭК составим уравнения, опираясь на метод теплового баланса (далее – ТБ). Количество уравнений системы: $K_y = M_c + M_э + M_р$, $M_э$ – кол-во компонентов, $M_р$ – кол-во КР.

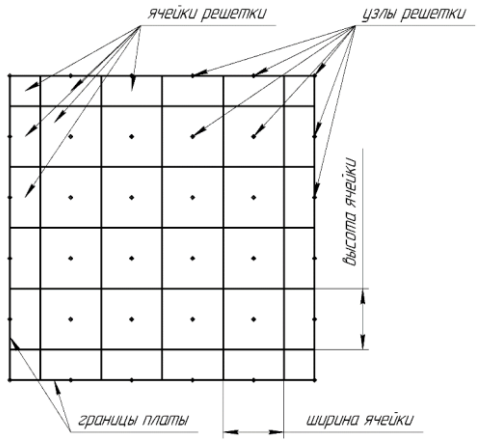


Рисунок 1 – Деление ПП при использовании метода конечных разностей

Для любой ячейки ПП Nсоставим модель ТБ (рис. 2) описанную в статье[12]

В данных уравнениях λ_x, λ_y – теплопроводности ПП по x,y(неизменяемые на всей площади ПП); ndx, mdy– формат ячеек по осям без учета граничных элементов; δ – толщина ПП; $\sigma^i_{M_1}$, $\sigma^i_{M_2}$ –теплопередача от элемента, установленного на левой или правой стороне ячейки; $T^{л}(x)$, $T^{пр}(x)$ – условные температурыОС у поверхности ПП на высоте ячейки; $\sigma^{л}_{пл-ср}$, $\sigma^{пр}_{пл-ср}$ – теплопередача от окружающей среды (далее – ОС) в отношении ячейки с левой или правой стороны.

Для всякого ЭК (рис. 3) выведем уравнение, будем строго учитывать закон сохранения энергии:

$$P = P_{эл-ср} + P_{эл-пл}$$

где P– мощность выделений тепла элементом; $P_{эл-пл}$ – поток, в плату; $P_{эл-ср}$ – лучисто-конвективный поток, направленный в ОС.

.

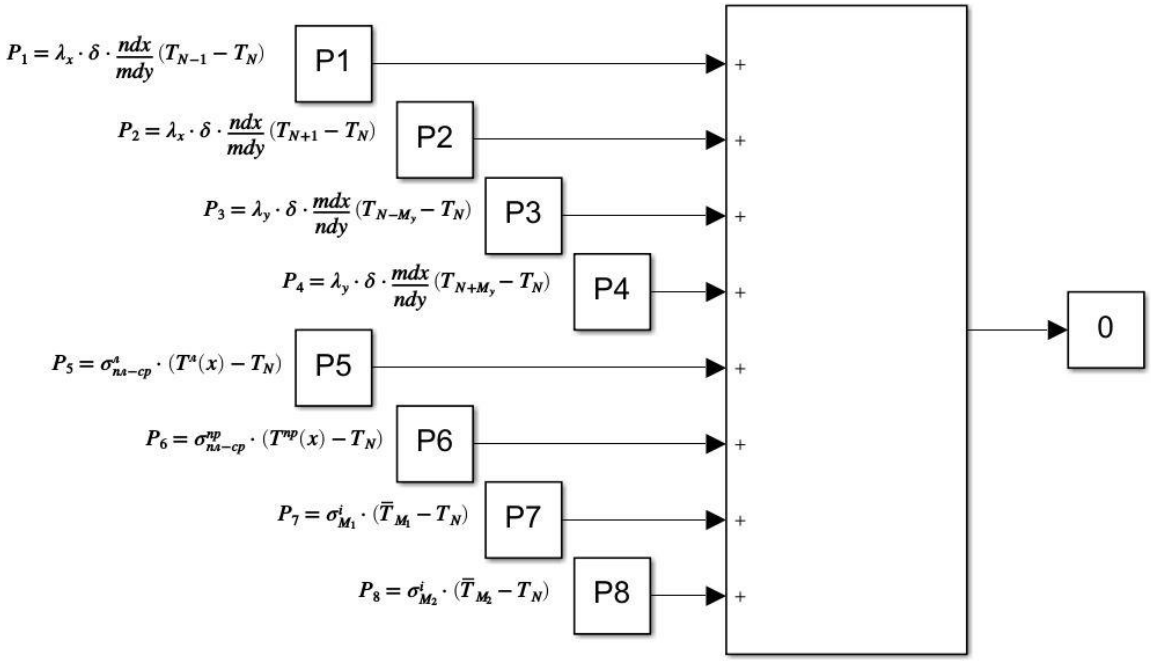


Рисунок 2 – Модель потоков произвольной ячейки ПП

(где, P – потоки идущие от смежных ячеек ПП, P_1 – сквозь ячейку слева;P_2 – сквозь ячейку справа; P_3– сквозь ячейку сверху;P_4 – сквозь ячейку снизу;P_5-на высоте *x*от ПП слева;P_6– на высоте *x* справа; P_7 – от элемента M_1, размещенного слева; P_8–от M_2, размещенного справа)

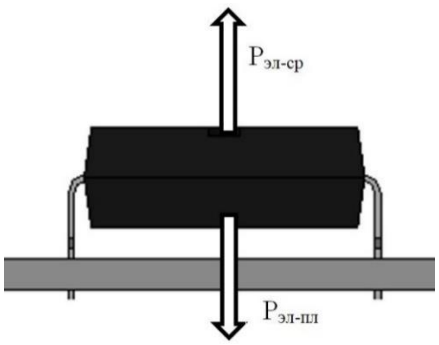


Рисунок 3 – Тепловой баланс ЭК

$$P_{эл-ср} = \sigma^{л} \cdot (T_M - \bar{T}^{пл}) + \sigma^{к} \cdot (T_M - \bar{T}^{возд})$$

$\sigma^{л}$, $\sigma^{к}$ – лучистый поток к соседней ПП и конвективный к ОС на данной высоте; где $\bar{T}^{пл}$, $\bar{T}^{возд}$ – средняя температура соседней ПП и воздуха на данной высоте.

Поток, уходящий в плату $P_{эл-пл}$, вычисляется как сумма потоков к каждой из ячеек платы, попадающих в проекцию элемента:

$$P_{эл-пл} = \sum \sigma^i_M \cdot (T_M - T_{N_i})$$

Кроме компонентов, на ПП размещаются электрические разъемы. В работе «Методика расчета теплового сопротивления штыревых электрических разъемов» [9] представлен алгоритм расчета ТБ в КП.

Для каждого разъема (рис. 4) составим уравнение теплового баланса:

$$P = P_{эл-ср} + P_{эл-пл} + P^{конд}_{эл-ш}$$

$P^{конд}_{эл-ш}$ – поток через разъем в КП.

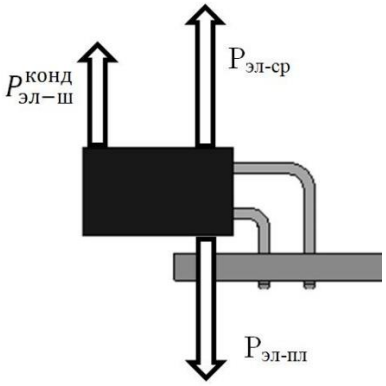


Рисунок 4 – Тепловой баланс разъема

Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма

Баланс тепловых потоков составлен вышеизложенным принципам:

$$\sigma^{\text{л}} \cdot (\mathrm{T_М} - \bar{T}^{\text{пл}}) + \sigma^{\text{к}} \cdot (\mathrm{T_М} - \bar{T}^{\text{возд}}) + \sum \sigma_M^i \cdot (T_M - T_{N_i}) + \\ + \sigma_{\text{эл-ш}}^{\text{конд}} \cdot (T_M - T_{\text{Ш}}) - P = 0$$

Проводимость к КП$\sigma_{\text{эл-ш}}^{\text{конд}}$ и температура $T_{\text{Ш}}$ в области или точке контакта могут быть найдены на основании данных об особенностях разъема. В процессе определения конвективного коэффициента теплопередачи от компонента на ПП, согласно [1], важную роль имеет коэффициент Нуссельта: $Nu_l = 0{,}8\sqrt{Re_l}$, где *l*– характерный размер, принимаемый как длина обтекания компонента.

Блок-схема описанного алгоритма представлена на рисунке 5. Приведенный алгоритм, в отличие от алгоритма [1], не содержит вычислений плохо сходящихся рядов при расчетах тепловых коэффициентов и фоновых температур.

Для ПП с габаритами 200х200х1,5 мм и общей мощностью тепловыделяющих ЭК 13 Вт с девятью ЭК мощностью от 0,5 до 3,0 Вт при температуре корпуса 40^{o}С проведено сравнение результатов расчета по разработанной программе (№ 1), по программе (№ 2), реализующей методику, предложенную в [1], и результатов эксперимента. При проведении эксперимента использованы методики и средства бесконтактного теплового контроля [13, 14]. На рисунке 6 показаны результаты проведенного эксперимента по расчету перегрева и реальному перегреву.

Расчетные перегревы ЭК над температурой корпуса прибора выше экспериментальных на 3–8% по программе № 1 и на 7–14% по программе № 2.

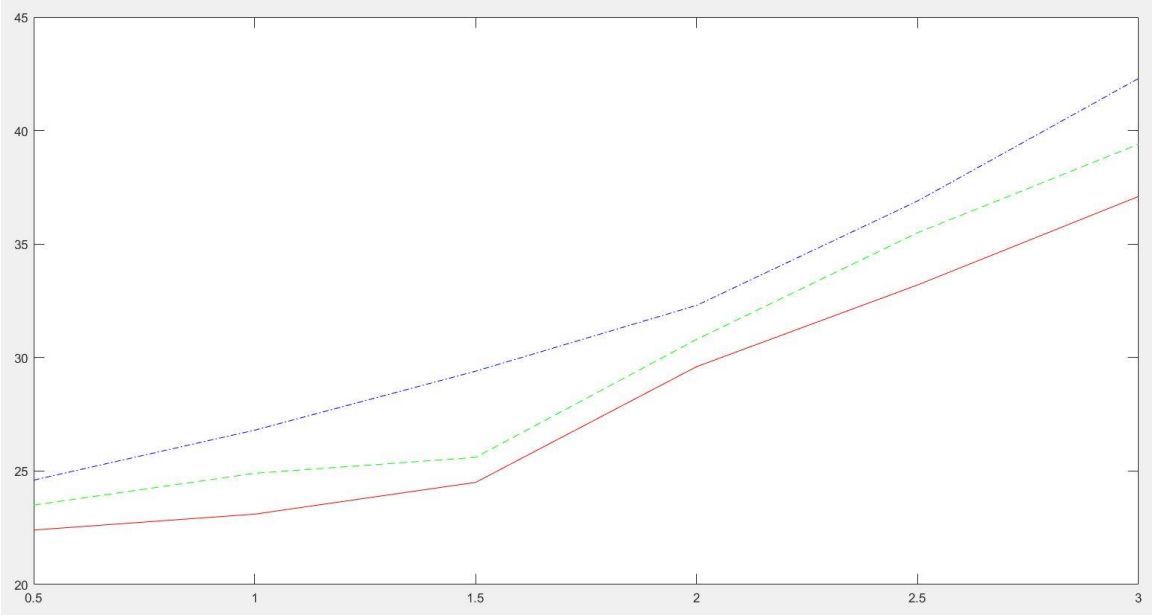


Рисунок 6. Результаты расчетов и эксперимента

Сплошная линия – эксперимент, пунктирная – программа №1, штрих-пунктирная – программа №2.

Заключение

Величина теплопроводности ПП на стадии проектирования может быть оценена с большой погрешностью. В проведенной серии расчетов выявлено существенное влияние величины теплопроводности ПП на ТР ЭК. Применение данного алгоритма позволит разработчикам ЭА определить диапазон изменения температур ЭК. Приведенная последовательность может применяться в системах автоматизированного проектирования ПП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов. – М.: Радиои связь, 1990. – 312 с.

2. Камышная Э.Н., Курносенко А.Е., Иванов Ю.В. Системный анализ 3D-MID технологий//Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 11 (23). С. 15.

3. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в РЭА. – М.: Высшая школа, 1984. – 247 с.

4. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена. – М.: Высшая школа, 1990. – 208 с.

5. Захаржевский С. Б., Курносенко А. Е. Расчет изделий электроники на механические и тепловые воздействия в САПР Creo: учеб.пособие. – М:. МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2013. — 56 с.: ил.

6. Чеканов А.Н., Маркелов В.В., Кадыков Г.Г. Автоматизация расчетов тепловых режимов с помощью ЭВМ.расчет тепловых режимов при естественной и принудительной конвекции - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 1983. 35 с.

7. Чеканов А.Н., Еланцев А.В. Проектирование и компоновка ГИС с учетом тепловых режимов - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 1989. 46 с.

8. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с.
9. Сушко В.Ю., Кораблев В.А., Шарков А.В. Методика расчета теплового сопротивления штыревых электрических разъемов // Известия вузов. Приборостроение. – 2005. – Т. 48. – №9. – С. 51–54.
10. Барат В.А., Власов А.И., Гомонов Д.А., Подобедов Д.В. Применение методов МКЭ и МГЭ при сеточном моделировании объектов типа среда-структура// В сборнике: Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы в XXI веке Сборник научных трудов молодежной научно-технической конференции. 2000. С. 145-159.
11. Власов А.И., Назаров А.В. Основы моделирования микро- и наносистем - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2011. 142 с.
12. Бирюлин Г.В., Егоров В.И., Муров С.Ю. Расчет теплового режима электронных компонентов на печатной плате // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2010, № 4.
13. Дмитриев В.Е., Попов Д.В. Анализ носимых средств для инфракрасной термографии // Технологии инженерных и информационных систем. 2018. № 2.
14. Панфилова С.П., Власов А.И., Гриднев В.Н., Червинский А.С. Бесконтактный тепловой контроль электронно-вычислительных средств // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2007. № 6. С. 42-49.

УДК: 381.3.06

Власов А.И., Карпунин А.А., Курышев Р.Э.
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

ВИЗУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ SMART-ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Данная работа посвящена анализу методов визуального моделирования процессов управления персоналом проектов. Основное внимание уделено проблемам подбора персонала руководителей проектов, в условиях практического отсутствия единых требований по уровням компетенции сотрудников. Предложена методика принятия решений при формировании проектных команд. Проанализированы системы поддержки принятия решений. Рассмотрены методы, использующиеся в данных системах. Исследованы проблемы актуализации обрабатываемой информации. Предложена методика построения BPMN моделей при обработке кадровой информации. В заключении даны рекомендации по дальнейшим направлениям исследований в области технологий управления персоналом.

Ключевые слова:
УПРАВЛЕНИЕ ПЕРСОНАЛОМ, ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ, OLAP, ИНФОРМАЦИЯ, ПРОЕКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА, СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ, РЕШЕНИЕ, КОМПЕТЕНЦИИ, КАДРЫ, БАЗА ЗНАНИЙ, БАЗА ДАННЫХ, СУБД, BPMN

Введение

Процесс управления персоналом проектов одна из важных и вместе с тем трудно формализуемых, многокритериальных задач комплексного управления социально-производственными системами. Одной из основных проблем в рамках комплексного проектного управления является подбор персонала руководителями проектов, в условиях практического отсутствия единых требований по уровням компетенции сотрудников [1]. Это предполагает решение комплекса задач [2-5]:

- единая база профессиональных компетенций, принятая как со стороны образовательных организаций, государственных структур планирования труда и занятости, так и со стороны работодателя (проблема общности: компетенции подготовки кадров не понятны и не приемлемы профессиональным сообществом, вместе с тем, компетенции профессионального сообщества слишком узкие для классического академического образования);
- доступ к актуальной информации о компетенциях сотрудников, опыте работы и занятости, что позволит иметь представление о необходимом специалисте и обеспечит повышение эффективности управления персоналом проектов необходима (проблема доверия: отсутствует механизм доверия к дипломам при подушном финансировании и валовом выпуске сохраненного контингента, отсутствует доверие к рекомендациям, портфолио работника);
- доступ к системам профессиональной независимой и признаваемой сертификации, что обеспечит поддержку принятия решений в области управления персоналом проектов на основании анализа доступных фактов и регулярной оценки (самооценки) сотрудников, по критериям определения степени владения компетенциями сотрудником, которые позволяют минимизировать влияние «человеческого фактора» при оценивании (проблема качества: уровень работника познается только когда уже проект провален).
- доступ к единой системе профессионального сообщества, которая позволяет на основе централизованного хранилища оперативной информации и фактов организованно взаимодействовать с данными для планирования и формирования проектных команд, а также для их экспертизы и прогнозирования жизнедеятельности.

Существует множество систем подбора персонала, в основе которых лежит один и тот же бизнес-процесс . Представим процесс поиска персонала в BPMN нотации (рисунок 1) [5-7]. Большая часть претензий к сервисам управления персоналом проектов, в число которых входят профи.ру, YouDo, Авито, заключается в отсутствии требуемых квалификаций для проверки соответствия требования заказчика и условий проекта к исполнителю и незащищенность исполнителя в этой системе [8-11]. В этих системах имеется возможность выбрать подходящего специалиста в практически любом поле деятельности, просмотреть квалификацию исполнителя, выставить любую оплату за проделанную работу.

С точки зрения заказчика к негативным свойствам данных сервисов можно отнести:

- возможное несоответствие квалификации исполнителя требуемой задаче;
- возможность недобросовестного исполнения специалистом поставленного задания.

Куда более незащищенными пользователями таких систем являются эксперты в какой-либо области. Из основных претензий тех людей, что выполняют заказы, можно выделить:

- коррупцию со стороны менеджеров, которые имеют возможность запросить дополнительную сумму с исполнителя за назначение ему заказов;
- неверное определение квалификации ввиду некомпетентности менеджера;
- предрасположенность системы к большему доверию к заказчику, нежели специалисту;
- малая оплата труда;
- низкое количество заказов;
- нечеткие требования ТЗ;
- возможность быть удаленным из системы из-за несоответствующей действительности отрицательных отзывов о проделанной работе.

1 Методика принятия решений при формировании проектных команд

Процесс принятия какого-либо решения, в том числе и при формировании проектных команд в контексте управления сложными социально-производственными системами, непосредственно связан с обработкой и структурированием больших объемов информации. Современные системы поддержки принятия решений (СППР), основанные на различных математических методах [12-15], позволяют автоматизировать этап обработки и структурирования исходных данных по кадровым ресурсам.

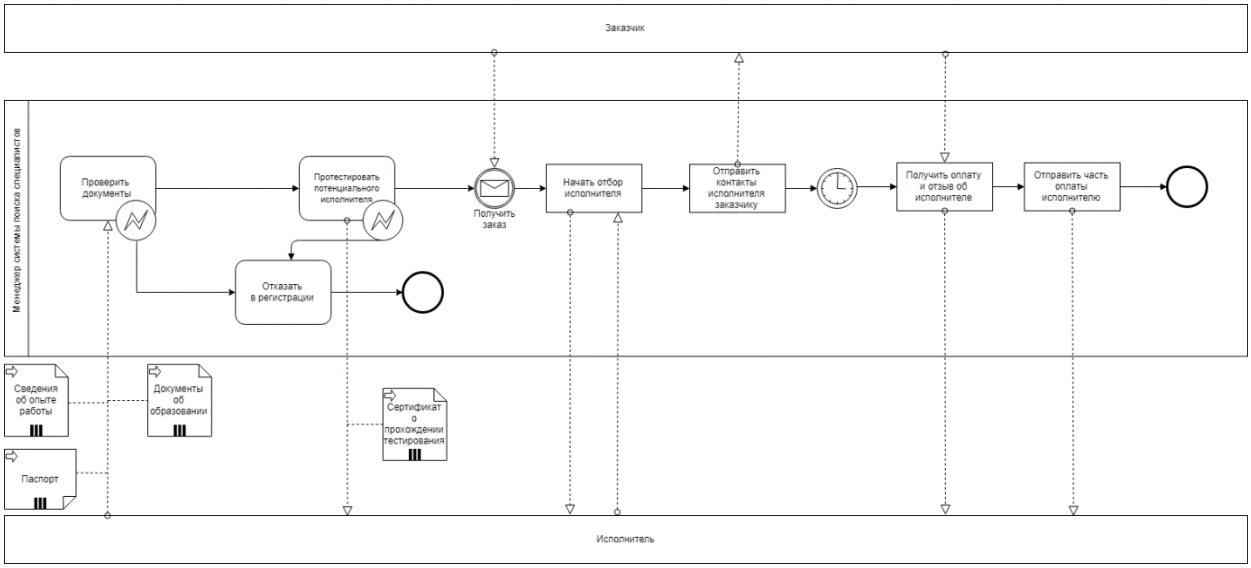


Рисунок 1 – Процесс подбора персонала в BPMN нотации

Системы поддержки принятия решений – те системы, которые при наличии неструктурированной или неформализованной задачи использовать информацию и модели для их решения. Роль СППР в процессе принятия решений, как правило, это сопровождение процесса принятия решений, само принятие решения практически всегда остается за человеком. В основе систем принятия решений лежат экспертные системы – системы, обладающие способностью в определенной степени подменить специалиста в какой-либо области собой.

Ядро системы - база знаний, которая представляет собой совокупность знаний в определенной области, в данном случае - в области управления персоналом, записанная на машинном носителе. Прежде чем наполнить это ядро знаниями, необходимо найти экспертов, т.е. профессионалов-практиков высокого уровня в данной предметной области (или использовать сициомедиум), которые смогут выделить для описания конкретного объекта необходимый набор параметров – дескрипторов, которые, в свою очередь, обладают заданной градацией (ранжированием). Далее, из всех возможных полученных параметров необходимо выделить те, которые позволяют предоставить общее понимание об объекте каждому из сотрудников. Этого можно достичь, благодаря акцентировании внимания на наиболее часто повторяющихся дескрипторах, что также позволяет перейти от субъективной оценки к объективной. В результате чего, объект будет обладать конечным числом параметров, как правило, их количество составляет около 7-10 единиц. По шкале дескриптора определяют его степень и, используя распределение Гаусса, определяют, где совпадает общее мнение экспертов. Базы знаний можно постоянно развивать и дополнять, что и делают их разработчики.

Если предметная область большая, то ее необходимо разделить на подпроблемы (соответственно цели - на подцели, задачи - на подзадачи), не нарушая при этом общую ее логическую структуру. В этом случае экспертная система будет состоять из нескольких модулей (блоков). Чаще всего именно так строятся кадровые экспертные системы, поскольку предметная область этой сферы деятельности и спектр решаемых задач очень большие.

Системы поддержки принятия решений (СППР) оказывают помощь в решении неформализованных и неструктурированных или слабоструктурированных задач, помогают вести управленческую деятельность и обладают свойством решать многокритериальные задачи. Говоря про многокритериальность решаемых задач, имеют ввиду способность оценивать принимаемые решения по купе некоторого количества показателей в данный временной промежуток. В свою очередь, это порождает необходимость в использовании современных достижений в вычислительной технике, ведь множество вероятных решений, как правило, довольно велико и критически необходим многосторонний анализ существующей проблемы.

И возникает потребность как в выборе единственного лучшего решений из множества предложенных, так и упорядочивание предложенных решений по предпочтительности. Другими словами, мы говорим об оптимизации и ранжировании соответственно. Наиболее важная задача в принятии решения — это отбор необходимых критериев для его оценки. И именно СППР позволяет их отобрать для конечного потребителя. Множество СППР разделяется по способам (методам) решения требуемых задач. Классификация СППР представлена на рисунке 2.

Рисунок 2 – Методы, использующиеся в СППР

Представленная схема отражает возможность получения целого множества различных решений, при этом корректных и однозначных, на основе некоторой модели, подвергнутой анализу. При этом вне зависимости от используемого метода, будет получено верное решения, которое затем может быть оценено как более или менее подходящее среди других решений.

Такие решения присутствуют во многих информационно-аналитических системах. И в ходе все большего усложнения деятельности человека необходимость разрабатывать и внедрять системы поддержки принятия решений становится все более острой. Имеет смысл рассматривать системы поддержки принятия решений прочих информационных систем. В общем, выделяют 3 типа поддержки решений, как показано на рисунке 3.

Все из представленных типов являют собой информационные системы, которые осуществляют решение неформализованных задач, при этом предоставляя возможность для генерации различных решений (Рисунок 4).

Рисунок 3– Типы поддержки решений

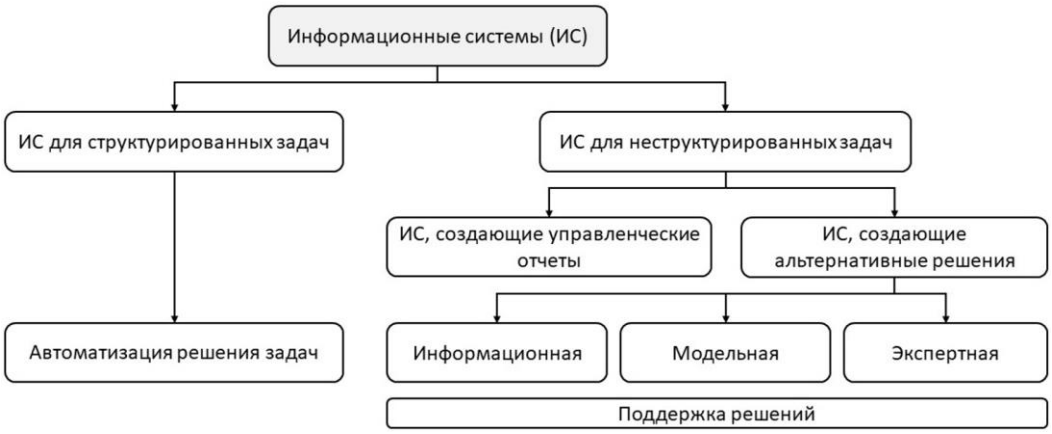


Рисунок 4 – СППР относительно существующих ИС

Необходимо отметить тот факт, что системы поддержки принятия решений не заменяют собой знания и опыт пользователя. Они лишь предлагают некоторые варианты решения задачи, а пользователь в свою очередь может пользоваться своими соображениями при принятии окончательного решения, а также привлекать специалистов со стороны для оценки предложенных вариантов. Системы же оказывают помощь в поиске труднодоступных для поиска решений в рамках данной задачи. Другими словами, результат работы систем поддержки принятия решений носит лишь рекомендательный характер [16]. На рисунке 5 отображены основные области, исследования в которых позволили совершенствовать СППР.

Рисунок 5 – Области исследований для современных СППР

В ходе объединения систем управления базами данными (СУБД) и управленческих информационных систем (УИС) появились рассматриваемые в рамках данной статье СППР.

Современные СППР в ходе своей работы обращаются к следующим технологиям:

хранилища данных;

инструменты извлечения данных;

инструменты оперативной аналитической обработки информации.

Как результат, СППР возникли благодаря слиянию управленческих информационных систем (УИС) и систем управления базами данных (СУБД).

Стоит отметить, что из-за ограниченности существующих математических методов существует трудность в выборе лучших вариантов решения и их упорядочиванию по приоритету, что выливается в требование предварительного приведения критериев к единой числовой оценке.

Способов достижения этого требования существует довольно много и, в зависимости от выбранной СППР, они могут давать совершенно разный результат. Конечный пользователь не влияет на используемый метод приведения критериев к единой числовой оценке, поскольку эта задача полностью лежит на разработчике используемой системы. Таким образом, именно разработчик, а не пользователь имеет существенное влияние на ранжирование предложенного списка вариантов.

Но в наше время разработка систем поддержки принятия решений делает шаги в сторону избавления от этого недостатка путем сопоставления разнообразных групп показателей между собой. Это интерактивный процесс с участием пользователя, который позволяет получить предпочтительные группы критериев для каждого конкретного пользователя, на основе которых проводятся дальнейшие шаги по расставлению приоритетов для решений. Это позволяет минимизировать влияние видения разработчика на возможную проблему на предпочтения потребителя данного продукта.

Системы поддержки принятия решения обладают свойствами, представленными на рисунке 6.

Существует такое понятие, как идеальная СППР, которая должна целым набором различных свойств (Рисунок 7).

Рисунок 6 – Свойства СППР

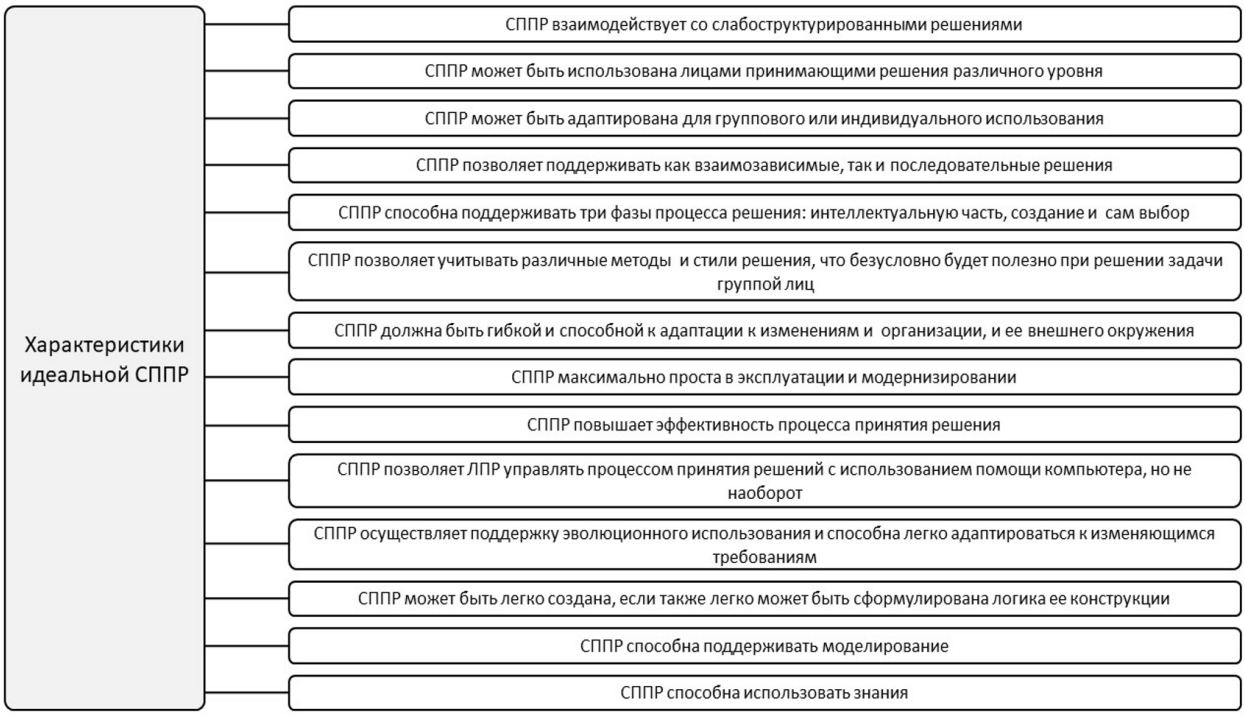


Рисунок 7 – Характеристики идеальной СППР

Системы поддержки принятия решений можно условно классифицировать по степени завершенности конечного решения (Рисунок 8).

Рисунок 8 – Типы систем поддержки принятия решений

Пассивная СППР выводит лишь список решений, оставляя процесс выбора единого варианта для пользователя. Активная СППР выносит предложение выбора определенного решения.

Кооперативная же даже предоставляет возможность дополнения списка выведенных решений потребителем, который может предложить свой вариант, и система его проверит. Это довольно сложный многоитерационный подход по получению удовлетворительного результата. СППР можно также разделить по тому, какими объектами она управляет (Рисунок 9).

Рисунок 9 – Отличие систем по управляемым ими объектами

Приведем беглую характеристику каждой из этих систем. Управляемые сообщениями системы позволяет сразу некоторому количеству пользователей работать над решением единственной задачи. Управляемые данными системы работают с такими понятиями, как доступ и манипуляция данными. Управляемые документами системы отвечают за взаимодействие с неформализованной информацией без какой-либо структуры. Управляемые знаниями системы решают задачи в форме фактов, правил, процедур. Управляемые моделями системы работают с математическими моделями.

При этом не стоит забывать про OLAP системы, которые занимаются сложным анализом данных и нередко называются «гибридными» системами.

Оперативные системы (системы первого типа) часто называются «Информационными системами руководства». Они отличаются работой в режиме real-time и отражают главные аспекты различной деятельности (Рисунок 10).

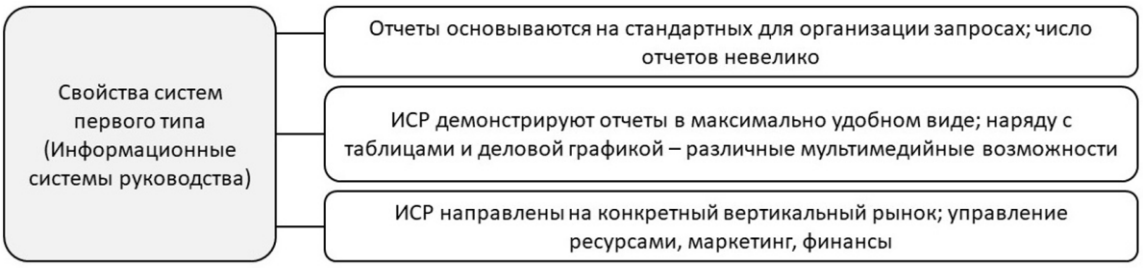


Рисунок 10 – Свойства систем первого типа

Стратегические системы, или как их еще называют, «системы второго типа» предполагают более глубокую проработку информации. Они основываются на многомерном представлении данных (OLAP)

В целом, решения даются в самых разнообразных конфигурациях, которые зависит от большого количества факторов.

2 Вопросы актуализации информационных ресурсов

Одной из основных проблем СППР является актуализация обрабатываемой информации, как стимулировать специалиста постоянно повышать свою квалификацию, соответствовать уровню решаемых задач, вести свое портфолио и предоставлять в статистическую систему актуальную информацию. Отсутствие механизма актуализации данных одна из самых важных проблем как локальных, так и глобальных кадровых систем. Размещенные резюме и вакансии быстро устаревают, теряют свою актуальность, данные по сотрудникам редко обновляются и не могут уже служить инструментом для принятия решений [17].

Итак, рассмотрим подходы к решению проблемы "актуализации данных". Выделяют модерируемую актуализацию (когда сотрудники кадровых служб пытаются собирать и актуализировать необходимую информацию) и самоактуализацию (когда комплекс стимуляторов заставляет актуализировать данные самого сотрудника. В последнее время наибольшее распространение находит комплексный подход, когда сотрудники проводят самоактуализацию данных, а модераторы подтверждают ее адекватность [18-20].

Отправной точкой формирования профессионального портфолио является регистрация кадрового агента. На первом этапе сотруднику (кадровому агенту) предлагается провести самооценку, где он может выбрать из списка (это принципиально) все формализованные компетенции, которыми обладает и их уровни, а также отметить владение сертификатами, специализированными курсами и т.д. В случае отсутствия в перечне компетенций того пункта, которым обладает сотрудник, предусмотрена возможность его добавления в список, после модерирования. Для удобного представления информации вводится шкала оценки уровня владения компетенцией (Рисунок 11).

Следующим этапом следует верификация данных сотрудником из служб персонала, который отслеживает в системе информацию с определенной регулярностью, в связи с изменением уровня компетенции персонала.

Такой подход подразумевает регулярное проведение самооценки и верификации новых сертификатов по завершению каждого проекта, где руководитель проекта может провести внешнюю оценку уровня компетенции сотрудника. Мотивацией является периодическое премирование сотрудников по его индивидуальному рейтингу (например, по числу и качеству публикаций, росту индекса цитирований публикаций в библиометрических базах и т.п.). Комплексная методика актуализации кадровой инфраструктуры представлены на рисунке 12.

Реализация комплексной методики предполагает несколько этапов. на начальном этапе создается прототип, который включает в себя реализацию экспериментальных анкет и отчетов на Web движке и QlikView соответственно.

OlikView – платформа, позволяющая самостоятельно проводить бизнес-анализ и на основе результатов своей работы поддерживать решения. Также она предоставляет возможность совместной работы в команде по поиску решений.

Рисунок 11 – Шкала оценки уровня владения компетенциями

OlikView оставляет за пользователем большое количество свободы в ходе работы в своей среде, поскольку в ней отсутствуют заранее настроенные пути детализации и информационные панели.

На этапе подготовки, сбор максимально полной базы данных по компетенциям выполнялся за счет рассылки проект-менеджерам писем, с просьбой о выдаче наборов компетенций, которыми обладают их сотрудники. Согласование с материалами служб труда и занятости, образовательными учреждениями и т.п. После чего формируется рабочая база данных.

Так как кадровая информация разнородна и сложноформализуема, то для ее обработки целесообразно использовать подход в виде "матрицы идей" и технологии мультимножеств [21-23] (Рисунок 13).

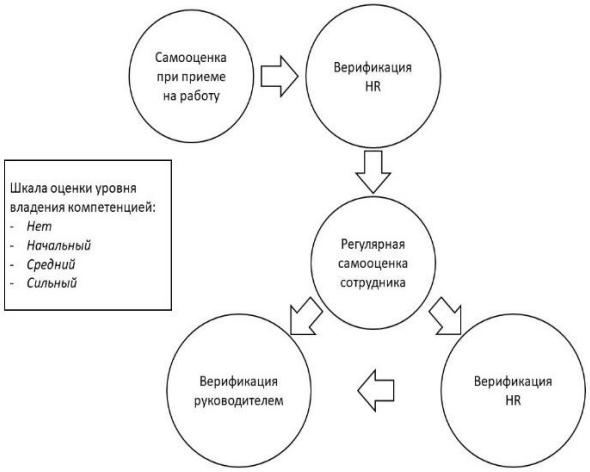


Рисунок 12 - Комплексная методика актуализации кадровой инфраструктуры

Все данные собраны в мультикуб, который можно нарезать в различных плоскостях [23]. Например, по верхней оси расположены компетенции, соответственный срез покажет, кто обладает данной ком-

петенцией. Точно так же имеется возможность выбрать определенного сотрудника и просмотреть, какими компетенциями он обладает. Выполнение отчетов и их дальнейшая обработка реализуются на основе кубов «OLAP», которые позволяют добиться максимального удобства при взаимодействии с необходимыми данными.

Т.к. была поставлена задача не использовать внешние движки, чтобы данные о сотрудниках оставались внутри компании, всё необходимое может быть реализовано внутри среды «MS Project» [24] на сервере SharePoint [25] (Рисунок 14).

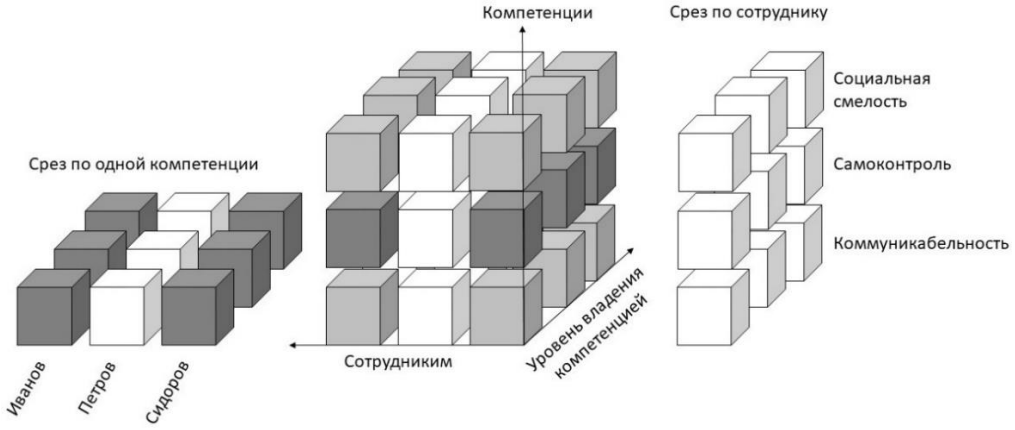


Рисунок 13 - Концепция мультимножеств при обработке кадровой информации

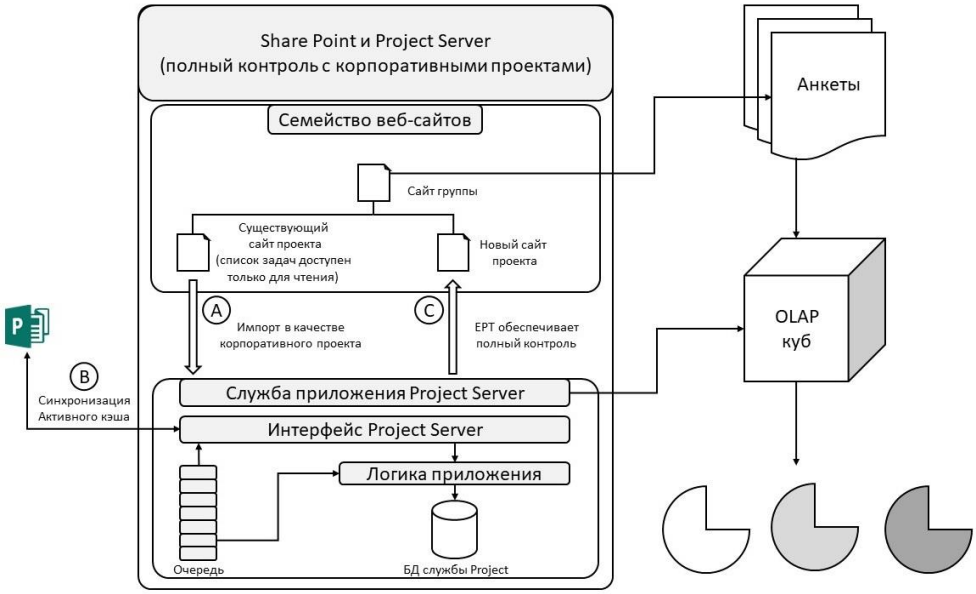


Рисунок 14 - Обобщенная структура интеллектуального проектного управления кадровой структурой

Результаты анализа дальнейших направлений управления персоналом приведены в таблице 1.

Результаты анализа направлений управления персоналом Таблица 1

Проблема	Решение
Заполнение анкеты при приеме сотрудника на работу не является обязательным и не контролируется	Анкета должна стать частью обязательного комплекта документов в работе HR
Уровень владения компетенцией определяется субъективной оценкой сотрудника	Необходим механизм подтверждения уровня компетенций
Данные по компетенциям требуют регулярной актуализации	Необходима регламентация процедур актуализации данных
В системе отсутствуют данные о текущей загруженности сотрудника	Включение в OLAP куб дополнительных измерений

Данный подход находит практическое применение во время поиска специалистов, разбирающихся в кубах OLAP.

Заключение

Благодаря широкому выбору программных продуктов, а также их большому разнообразию и отличиям между собой, можно с нужной точностью определить необходимые критерии для решения задачи под стать требованиям и нуждам организации.

Процесс развития систем поддержки принятия решений подразумевает все большее усложнение используемых технологий с целью индивидуализации восприятия поставленной проблемы пользователем, поскольку необходимо максимально точно выделить внешние и внутренние факторы, а также пропорции между ними в рамках поставленной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базаров Т.Ю. Управление персоналом : Учебник - М.: Издательский центр "Академия", 2010 - 224с

2. Управление персоналом организации. Учебник / Под ред. А.Я. Кибанова. — 3-е изд., доп. и перераб. — М.: ИНФРА-М, 2005. — 638 с.

3. М.М. Горбатова Методы управления персоналом. Учебное пособие. - Кемерово: Юнити, 2002.

4. Самойлов А.Г. Кадры для радиоэлектронного комплекса страны // Проектирование и технология электронных средств. 2010. № 2. С. 70-74.

5. Власов А.И., Журавлева Л.В., Казаков В.В. Применение визуальных инструментов BPMN для моделирования технологической подготовки производства (Обзор) // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2020. № 1 (177). С. 14-26.
6. Власов А.И., Гоношилов Д.С. Системный анализ производства с использованием визуальных инструментов BPMN // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2019. № 3 (175). С. 10-16.
7. Vlasov, A.I., Gonoshilov, D.S. Simulation of manufacturing systems using BPMN visual tools // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Volume 1353.
8. Адамов А.П., Адамова А.А. К вопросу о повышении качества труда работников вуза в процессе подготовки специалистов // Проектирование и технология электронных средств. 2007. № 2. С. 65-71.
9. Илюшникова Е.К., Илюшников К.К. Инструменты автоматизации процесса управления персоналом в коммерческой организации // Креативная экономика. 2019. Том 13. Номер 7. С.1444-1456.
10. Войнова Е. В. Инновационные it-технологии в управлении персоналом // Научный журнал. 2016. Т.30. №8. С.830-
11. Анна Соколова HR-сервисы в России: обзор рынка // DOMBASE. Электронный ресурс. URL: https://rb.ru/story/HR-tech-present/ Дата обращения: 31.08.2020.
12. Григорьев В.П., Камышная Э.Н., Нестеров Ю.И., Никитин С.А. Применение методов искусственного интеллекта в САПР технологических процессов производства электронной аппаратуры - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 1998. 48 с.
13. Дембицкий Н.Л., Назаров А.В. Применение методов искусственного интеллекта в проектировании и производстве радиотехнических устройств - Москва, 2009. Сер. Научная библиотека МАИ. 228 с.
14. Орлов А. И. Методы принятия управленческих решений : учебник / А.И. Орлов. — Москва : КНОРУС, 2018. — 286 с.
15. А.А. Грешилов Математические методы принятия решений (2-е издание) - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2014. 648 с.
16. Катасонов С.В. Инновационные подходы к исследованию управления персоналом // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2008. Т. 2. С. 252-256.
17. Ширинкина Е.В. Оценка уровня человеческого потенциала в управлении развитием персонала // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т. 2. С. 302-304.
18. Власов А.И., Ганев Ю.М., Карпунин А.А. Система 5S-технология создания эффективного рабочего места в концепции "Бережливого производства" // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2016. № 1 (161). С. 65-68.
19. Власов А.И., Михненко А.Е. Информационно-управляющие системы для производителей электроники // Производство электроники. 2006. № 3. С. 15-21.
20. Власов А.И., Михненко А.Е. Принципы построения и развертывания информационной системы предприятия электронной отрасли // Производство электроники. 2006. № 4. С. 5-12.
21. Операции над множествами в СУБД Oracle // Периодические заметки о программировании. URL: http://torofimofu.blogspot.ru/2014/10/oracle.html (дата обращения: 23.04.2017).
22. Шеремет И.А. Рекурсивные мультимножества и их приложения - Москва: Наука, 2010. - 291, [1]с.
23. Абасов Р.К., Силла А.А., Власов А.И. Формализация конструкторско-технологической информации с использованием обработки мультимножеств // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017. № 3 (167). С. 34-43.
24. Кузьмина Н.В. Управление проектами средствами MS PROJECT // Вестник российских университетов. Математика. 2002. Т.7. вып.1. С.72.
25. Майкл Ноэл, Колин Спенс. Microsoft SharePoint 2010. Полное руководство = Microsoft SharePoint 2010 Unleashed. — М.: «Вильямс», 2011. — С. 800.

УДК 54.08

Сысуев В.А., Яньков Р.В., Лысенко А.В., Алмаметов В.Б., Тюрина Л.А.
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ОТ ВНЕШНИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Выполнен анализ современных средств защиты бортовых устройств от внешних механических воздействий. Проведена классификация механических воздействий на бортовые РЭС, выделены основные из них. Описано влияние внешних механических воздействий на работоспособность бортовых РЭС, а так же приведены примеры основных средств защиты.

Ключевые слова:
БОРТОВЫЕ УСТРОЙСТВА, МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ, РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА (РЭС), ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ, СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

Введение

В настоящее время, подавляющее большинство автоматизированных технических систем, которые выполняют функции управления или регулирования, а также связи и координации, имеют в своем составе электронные узлы и блоки. Современные устройства требуют комплексной разработки сложных систем управления, в которых возрастает доля радиоэлектронных компонентов. Сложность задач, которые стоят перед электронной аппаратурой растет из года в год. Расширяется и область применения радиоэлектронных средств. Все это приводит к тому, что в таких отраслях промышленности как кораблестроение, авиастроение, ракетостроение, а также космической промышленности, производящиеся аппараты все больше и больше оснащаются радиоэлектронной аппаратурой.

В таких изделиях отказ даже одного устройства может привести к полному отказу или же к неправильному функционированию всего объекта. В связи с этим, по мере развития радиоэлектронного машиностроения, требования, предъявляемые к надежности радиоэлектронных средств, постоянно увеличиваются [1].

Создание современных устройств, которые содержат электронные узлы и блоки, состоит из следующих этапов: проектирование, изготовление и тестирования. На каждом из этих этапов проводят большое количество испытаний, которые имеют разные цели и задачи. Во время проведения испытаний применяются различные методы. Стоимость таких испытаний значительна, и в некоторых случаях может составлять больше половины конечной стоимости изготовления устройства.

Как уже было сказано, в настоящее время такое свойство как надежность становится основным показателем качества радиоэлектронной аппаратуры. Надежность необходимо закладывать на этапе проектирования и изготовления. Но в наибольшей степени надежность устройства определяется во время его эксплуатации. Логичным звучит заявление, что возрастающая сложность радиоэлектронных средства приводит к снижению их надежности [2].

Вопрос надежности как никогда резко встает перед разработчиками, когда речь заходит о радиоэлектронных средствах, применяемых в военной промышленности, системах вооружения, которые стоят на защите суверенитета страны. Задачи, вы-

полняемые радиоэлектронной аппаратурой, являются чрезвычайно важными. Неправильное функционирование или даже отказ радиоэлектронной аппаратуры может привести к катастрофическим последствиям, в том числе и к человеческим жертвам. Следует также упомянуть о стоимости затрат на эксплуатацию радиоэлектронных средств. В том случае, если эксплуатируемое устройство является ненадежным, стоимость эксплуатация такого устройства в течение года может быть выше, чем стоимость самого устройства [3, 4].

Возрастание значения проблемы надежности, главным образом, обусловлено, следующими факторами:

все большим и большим усложнением радиоэлектронной аппаратуры;

возрастанием ответственности задач, которые выполняет радиоэлектронная аппаратура;

ужесточением условий эксплуатации аппаратуры.

Радиоэлектронные средства нашли широкое применение в авиационном и аэрокосмическом комплексах, а также и на других подвижных объектах. На подвижных объектах радиоэлектронные средства работают, порою, в жестких условиях. Они подвергаются различным механическим воздействиям, вибрациям, ударам, линейным ускорения, высокой интенсивности и в широком частотном диапазоне. Не секрет, что надежность радиоэлектронных средств, работающих в условиях интенсивных механических воздействий, заметно снижается. Источниками таких воздействий на радиоэлектронную аппаратуру могут быть работающие двигатели, в том числе реактивные, вибрация, возникающая во время движения транспортных средств, механические устройства, работающие вблизи от радиоэлектронной аппаратуры, взрывы и многое другое.

Механические воздействия, превышающие максимально допустимый для радиоэлектронных средств порог, могут приводить к изменению сопротивления компонентов, изменению магнитной проницаемости ферритовых сердечников, разрушению электрических контактов, деформации радиоэлектронных компонентов, а также вызывать наводки и приводить к изменению параметров электромагнитных полей. Механические воздействия являются причиной возникновения помех при передаче данных, снижают точность работы аппаратура, а также приводят к разрушению элементов конструкции.

Вместе в возрастающей надежностью современной радиоэлементной базы возрастает и интенсивность механических воздействий на радиоэлектронную аппаратуру, так как растут скорости подвижных объектов, на которых установлены такие радиоэлектронные средства. Все это приводит к усложнению задачи обеспечения стойкости радиоэлектронных средств к механическим воздействиям. Кроме этого блоки и шкафы радиоэлектронных средств являются сложными механическими конструкциями, состоящими из ячеек и печатных узлов, в которых, при воздействии внешних вибраций могут возникать резонансы, что приводит к значительному увеличению механических нагрузок. [5, 6]

Задача по обеспечению надежности радиоэлектронных средств также связана с такими задачами как обеспечение массогабаритных показателей, обеспечение ремонтопригодности и обеспечение теплового режима работы бортовых радиоэлектронных средств.

По разным данным причиной от 30 до 50 % отказов радиоэлектронных средств являются механические воздействия, которые приводят к выходу механических характеристик на элементах конструкции за допустимые пределы. Отказы, причиной которых являются механические воздействия, как правило, выявляются уже на конечных этапах разработки, приводят к продолжительной доработке конструкции. Всё это увеличивает сроки разработки радиоэлектронных средств, а также к увеличению затрат на разработку. Применение методов математического моделирования механических воздействий на бортовые радиоэлектронные средства помогает сократить сроки и стоимость работ по проектированию [7, 8].

Всё сказанное свидетельствует о том, что обеспечение надежности, на этапах проектирования бортовых радиоэлектронных средств является очень важной задачей.

Механические воздействия и их влияние на работоспособность бортовых РЭС.

1 Классификация механических воздействий на бортовые РЭС

В процессе работы бортовые радиоэлектронные средства, такие РЭС, которые установлены на движущихся объектах, подвергаются значительным механическим воздействиям. Тип и интенсивность таких воздействий могут быть разнообразными, вызваны разными источниками воздействия и расположением источников воздействия относительно конструкций РЭС. В большинстве случаев источниками механических воздействий на бортовые РЭС являются: окружающая среда, электромеханические устройства, совершающие возвратно-поступательные движения, неуравновешенные вращающиеся массы и прочее. Механические процессы, возникающие в конструкциях РЭС при внешних, и внутренних воздействиях, можно разделить на три типа:

вибрации;

удары;

линейны ускорения [9].

Вибрацией принято считать продолжительный процесс распространения в конструкции РЭС упругих волн. Длительность механического процесса, как правило, сравнивают с периодом собственных колебаний конструкции. Собственные колебания конструкции имеют определенный спектр. Если это специально не оговаривается, то под периодом собственных колебаний понимают период колебаний первой гармонике.

Во время воздействия вибрации волны отражаются стенок конструкции, мест соединения элементов конструкций и мест крепления.

Таким образом, образуется сложная волновая картина. В самом простом случае распространение волн в пространстве пренебрегают, а процесс колебаний рассматривают только во времени.

Под ударом понимают кратковременный переходный процесс движения точек конструкции, возникший в результате внезапного приложения или снятия внешних воздействий. После удара возникает вибрационный процесс, затухающий во времени.

Под линейным ускорением принято понимать длительное изменение скорости объекта, например, при взлете или посадке летательного аппарата, пуске ракеты и другими.

Элементы конструкции воспринимают это воздействие как силу инерции, которая равна произведению массы на ускорение. Также внешние воздействия могут быть в виде угловых ускорений, но такое ускорение можно рассматривать как линейное, так как радиус кривизны траектории движения обычно намного превышает габариты движущейся конструкции.

Механические воздействия передаются на аппаратуру разными путями. При проектировании радиоэлектронных средств чаще всего учитывают механические воздействия, которые передаются на РЭС через точки крепления к движущемуся объекту. Уровень этих воздействий обычно известен. Их можно измерить с помощью датчиков, закрепленных в местах крепления РЭС [2].

Кроме того, механические воздействия могут передаваться непосредственно на стенки корпуса аппаратуры в виде давления воздуха окружающей среды или давления воздуха внутри подвижного объекта. Так, например, акустические шумы, то есть колебания воздуха, могут вызывать сложные колебания аппаратуры.

При проектировании радиоэлектронных средств, устойчивых к механическим воздействиям, необходимо задавать внешние воздействия.

Проблема состоит в том, что не всегда уровень этих воздействий известен, а также нельзя точно предугадать каким воздействиям будет подвержена аппаратура в процессе эксплуатации. Поэтому в техническом задании на изготовление устройства

обычно указываются завышенные требования к механической стойкости. Они должны быть выполнены для обеспечения запаса по вибропрочности и вибрационной устойчивости.

Возникновение вибраций, в основном, является следствием колебаний точек крепления радиоэлектронных средств. Вибрация бывает гармоническая и случайная. Гармоническую вибрацию разделяют на два типа:

моногармоническая;

полигармоническая [10].

К параметрам, характеризующим вибрацию можно отнести виброперемещение, виброскорость и виброускорение.

Кроме того, в процессе транспортировки, при монтаже, а также во время эксплуатации радиоэлектронная аппаратура может быть подвержена ударным воздействиям. Во время удара конструкция и элементы РЭС испытывают большие нагрузки в течение короткого промежутка времени t.

При ударных воздействиях ускорения на элементах могут достигать больших значений, что приводит к повреждению элементов. Удары приводят к возникновению затухающих колебаний в элементах конструкции РЭС.

Поэтом необходимо предусмотреть защиту РЭС сразу и от ударов, и от вибраций. Движение с переменной скоростью характеризуется линейным ускорением. На бортовые РЭС, которые установлены на объектах, движущихся с переменной скоростью, действует линейное ускорение.

Влияние линейного ускорения на элементы конструкции РЭС обусловлено силой инерции, которая может превышать силу тяжести во много раз.

Перегрузки, возникшие в результате линейного ускорения, практически не поддаются ослаблению. О методах повышения устойчивости радиоэлектронных средств к механическим воздействиям будет сказано в следующих пунктах [5].

2 Влияние механических воздействий на работоспособность бортовых РЭС

Все материалы обладают упругими свойствами. Внешние силы, воздействуя на детали, изготовленные из конструкционных упругих материалов, могут привести к тому, что детали поменяют свою форму. Если внешнее воздействие снять, то форма частично или полностью восстановится. Изменяющие во времени вибрационные воздействия могут привести к сложной деформации конструкции.

При ударах и вибрациях изменяющиеся во времени формы деталей образуют сложную картину деформации конструкции. При этом упругие волны, отражаясь от элементов конструкции, мест соединений накладываются друг на друга. Чем материал тверже, тем изменение формы деталей, изготовленных из такого материала, меньше. Так как конструкции РЭС имеют, как правило, небольшие размеры, то перемещения в них имеют порядок нескольких десятков микрон. Однако даже такие малые деформации могут привести к появлению больших сил. Малые деформации, как и внешние силы, а также линейные ускорений могут привести к нарушениям в работе РЭС, а в некоторых случаях даже к отказам. Поэтому малыми деформациями пренебрегать нельзя и их стоит учитывать при анализе конструкции [11, 12].

Результатом механических воздействий на РЭС могут стать сбои в работе или отказы. Сбоем называется временное нарушение в работе, после которого не требуется ремонта аппаратуры. Нормальная работоспособность аппарата восстанавливается сама после окончания действия внешних механических нагрузок. Отказом называется такое нарушение нормальной работы аппаратуры, при котором для восстановления аппаратуры требуется ее ремонт. Во время отказов значения параметров аппаратуры выходят из диапазона нормальных значений. Нестационарные процессы деформаций в каждой точке конструкции в каждый момент времени можно определить с помощью различных характеристик движения: перемещений, деформаций, напряжений, скоростей и ускорений. Перемещения, скорости и ускорения являются векторами, то есть определяются в общем случае тремя компонентами, а деформации и напряжения – тензорами и имеют по 9 компонентов, записываемых в виде матриц 3Х3 [13].

Одни характеристики легко выражаются через другие с помощью простых дифференциальных соотношений и закона Гука. Например, можно выразить все характеристики движения через перемещения. Тогда деформации и напряжения определяются через производные, от перемещений по координатам, а скорости и ускорения – как производные от перемещений по времени.

Факторы, которые вызывают обратимые изменения в конструкции можно разделить на следующие группы:

деформации в активных и пассивных элементах, приводящие к изменению их параметров (конденсаторы, катушки индуктивности);

нарушение электрических контактов, вызывающие изменения омического сопротивления контактов;

изменение параметров электрических, магнитных и электромагнитных полей, которые в свою очередь могут привести к нарушению электромагнитной совместимости в конструкции.

Деформация растяжения, деформация сжатия и деформация сдвига приводит к изменению габаритных размеров и формы деталей. Если говорить о деформации электрорадиоизделий, то это приводит к изменению их электрические характеристики: сопротивления, емкости, индуктивности и коэффициентов усиления транзисторов.

Связь деформаций и активного сопротивлением проводников достаточно просто определить. Омическое сопротивление R проводника зависит от его геометрических размеров (длины l и сечения S) и вычисляется согласно следующему равенству:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

При растяжении проводника длина его увеличивается на:

$$\Delta l = \varepsilon l,$$

где ε – относительное удлинение, а сечение уменьшается на величину:

$$S = [l - (1 - \varepsilon\vartheta)^2],$$

где ϑ – коэффициент Пуассона.

Таким образом, величина сопротивления с учетом относительного удлинения составит:

$$R + \Delta R = \rho \frac{l(1+\varepsilon)}{S(1-\vartheta\varepsilon)^2} - 1,$$

а относительное изменение сопротивления будет равно:

$$\frac{\Delta R}{R} = \rho \frac{1+\varepsilon}{(1-\vartheta\varepsilon)^2}.$$

Если для правильной работы электрической схемы относительное изменение сопротивления при его деформации не может превышать одного процента.

При однородном растяжении металлических материалов такие большие значения встречаться практически не могут. Силы, которые могут привести к таким значениям растяжения, будут очень большими и вероятнее всего вызовут разрушение материала. Но при неоднородных деформациях, при изгибах пластин на их поверхности деформации растяжения (сжатия) могут достигать указанного значения. Поэтому наиболее опасны деформации печатных проводников и резисторов поверхностного монтажа, а также подложек, микросхем и других деталей, подверженных изгибам [14].

Не так существенно зависят от деформаций емкости и индуктивности электрорадиоизделий. Однако и такие изменения могут стать причиной к возникновению сбоев. Вибрации на высокой частоте могут вызвать возникновение резонансных явлений в колебательных контурах или автоколебания. Вычисление допустимых значений деформаций в этом случае возможно по той же методике, что и для проводников, но является несколько более сложным [1].

Электрорадиоизделия, которые устанавливаются на печатных платах или других несущих конструк-

циях, обычно соединяются с остальной электрической схемой при помощи выводов, которые припаиваются или привариваются к контактным площадкам на печатных платах. Выводы электрорадиоизделий обычно тонкие и поэтому имеют малую жесткость. При вибрации выводы электрорадиоизделий подвержены большим деформациям и могут сломаться. Разрушение выводов ЭРИ является наиболее частой причиной выхода из строя бортовой аппаратуры, поэтому прочностной расчет выводов чрезвычайно важен при проектировании аппаратуры. Если ЭРИ крепится к печатной плате через выводы, то расчет прочности становится проще, чем в случае, когда компонент, например, приклеен к печатной плате, так как массой выводов по сравнению с массой элемента в целом можно пренебречь и математическая модель для расчета получится с одной степенью свободы.

Практика применения электрорадиоизделий показала, что причиной разрушения выводов могут быть слишком большие деформации, возникшие в результате больших скоростей вибрации. Резонансные колебания являются особенно опасными для выводов ЭРИ. Механическое напряжение материалов связывают с прочностью элементов конструкции. Если напряжения превышают максимально допустимое значение для данного материала, то происходит разрушение материала и отказ аппаратуры. Поэтому допустимые напряжения определяются значениями напряжений в материале, при которых начинается разрушение. Однако механизм разрушения в различных материалах различен. По-разному разрушаются твердые и мягкие материалы, кристаллические и аморфные вещества. Механизм разрушения также различается при медленном и быстром нагружении, одиночных импульсах, длительных периодических или случайных нагрузках [14].

Наиболее часто подвержены разрушениям соединения, разъемные и неразъемные, точки креплений, места конструкций с отверстиями, изгибы,

детали конструкции, которые подвержены трению, а также детали, которые испытывают удары. Механические разрушения относятся к изменениям необратимого характера. В значительной мере подвержены разрушениям элементы, которые были нагружены во время монтажа. Это могут быть заклепки, болты и др. Важно обеспечить запас прочности таких деталей, чтобы не допустить их поломки. Если во время монтажа электро-радиокомпонентов они получили лишнее механическое напряжение, возрастает риск их отрыва.

Стоит также помнить и об усталостных разрушениях материалов. Под усталостью понимают процесс накопления повреждений в материале под действием переменных напряжений. Этот процесса связан с тем, что структура материала является неоднородной, материал имеет примеси или технологические дефекты при изготовлении.

3 Средства защиты бортовых устройств от внешних механических воздействий

3.1 Пассивные виброизоляторы

В настоящее время существует большое количество различных типов виброизоляторов, которые отличаются как по конструктивному оформлению, так и по виду упругого элемента. Это является следствием допустимых уровней перегрузки элементов аппаратуры и широкого диапазона эксплуатационных условий. Конструктор сталкивается с задачей выбора виброизоляторов, наилучшим образом удовлетворяющих техническим требованиям.

Существуют следующие виброизоляторы:

Резинометаллические виброизоляторы. К данной группе относятся виброизоляторы типа АКСС, АР, АЧ, АП, АН;

Пружинные виброизоляторы с воздушным демпфированием. К данной группе относятся виброизоляторы типа АД;

Пружинные виброизоляторы с фрикционным демпфированием. К данной группе относятся виброизоляторы типа АПНМ, АПН, АФД;

Виброизоляторы пространственного нагружения (АПН) предназначены для работы при нагрузках, действующих как вдоль оси виброизолятора, так и в поперечном направлении или под углом;

Цельнометаллические виброизоляторы со структурным демпфированием. К данной группе относятся виброизоляторы типа АЦП, АРМ, ДК.

3.2 Активные виброизоляторы

Электрогидравлические средства активной виброизоляции. Для активной виброзащиты на практике наиболее широко используют электрогидравлические системы дроссельного регулирования, обладающие сравнительно высоким быстродействием.

1) Если акселерометр устанавливается на каркасе системы, при этом в качестве основного управляющего сигнала используется сигнал, снимаемый с акселерометра, то такая система является системой управления по отклонению выходной величины, то есть системой с управлением по сигналу ускорения объекта виброзащиты.

2) Если акселерометр устанавливается на основании, то это – система управления по возмущающему воздействию.

3) Если сигнал снимается с акселерометра, который установлен как на основании, так и на каркасе системы, то это электрогидравлическая система с комбинированным управлением.

Пневматические средства активной виброизоляции. Пневматические системы могут иметь различную конструкцию. В одних случаях используются проточные камеры, давление в которых изменяется с помощью различных дроссельных устройств; в других – исполнительным органом может являться цилиндр двойного действия, давление, в камерах которого регулируется струйным или золотниковым распределительным устройством. В системах такого рода кроме рабочих камер, объем которых ограничен подвижным элементом, используются камеры постоянного объема, соединяющиеся дросселями с рабочими камерами.

Заключение

В данной статье были представлены различные средства для обеспечения защиты бортовых устройств от внешних механических воздействий. Проведен анализ существующих видов внешних механических воздействий, одним из которых является вибрационное воздействие. Рассмотрены основные методы и средства защиты бортовых устройств от внешних вибровоздейсвтвий. Наиболее эффективными среди них являются системы активной виброзащиты, в которых помимо элементов демпфирования, присутствуют элементы с дополнительным источником энергии, что позволяет изменять жесткость подвесов, и, тем самым, уменьшить влияние вибрационных нагрузок на устройства. Установлено, что наиболее сильное негативное влияние при вибрационных воздействиях оказывают резонансные явления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Остроменский П.И. Вибрационные испытания радиоаппаратуры и приборов. – Новосибирск, издательство Новосибирского университета. 1992.

2. Ильинский В.С. Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий. – М.: Радио и связь, 1982. – 295 с.

3. Токарев Д.Ф., Талицкий Е.Н., Фролов В.А. Механические воздействия и защита РЭА, – М.: Радио и связь. 1984. – 224 с.

4. Автоматизированная многоканальная виброиспытательная установка / А.В. Лысенко, А.В. Затылкин, Д.А. Голушко, Д.А. Рындин, Н.К. Юрков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2012. № S. С. 83-87.

5. Маквецов Е.Н., Тартаковский А.М. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1993. – 200 с.

6. Лысенко, А.В. Методика моделирования влияния внешних механических воздействий на динамические параметры РЭА в среде MATHCAD / А.В. Лысенко // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-1. С. 68-69.

7. Новиков В.С. Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования. М.: Транспорт, 1987.

8. Головин, П.Д. Применение метода квазиобразцового интервала времени для раздельного измерения параметров параметрических датчиков / П.Д. Головин, А.В. Лысенко, Н.К. Юрков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 4 (24). С. 149-157.

9. Дмитриевский Е.С. Техническая эксплуатация, надежность и диагностика авиационного радиоэлектронного оборудования: Учебное пособие/ СПГААП. СПб., 1996.

10. Талицкий Е.Н. Расчет вибро-, ударопрочности и устойчивости конструкции электронных средств: Учебн. пособ. – Владимир: Владим. гос.ун-т, 1998. –58 с.

11. Затылкин, А.В. Алгоритм и программа расчета статически неопределимых систем амортизации бортовых РЭС с кинематическим возбуждением / А.В. Затылкин, А.В. Лысенко, Г.В. Таньков // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2013. Т. 1. С. 223-225.

12. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528с.

13. Гришко, А.К. Прогнозирование и оптимизация управления процессов проектирования сложных технических систем в масштабе реального времени / А.К. Гришко, А.В. Лысенко, С.А. Моисеев // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1 (21). С. 40-45.

14. Лысенко, А.В. Способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях ЭС и методика его реализующая / А.В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 4. С. 41-44.

УДК 537.39

Рыбаков И.М., Андриянов А.Р., Петров П.Э.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСХЕМ ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КОРПУСА

В данной статье описываются и анализируются основные электрические параметры микросхем, зависящие от конструкции корпуса. Проектировщик цифровой быстродействующей аппаратуры должен учитывать любые процессы, происходящие внутри корпуса микросхемы, чтобы минимизировать эффекты, отрицательно влияющие на качество и целостность сигнала.

Ключевые слова:

ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА, МИКРОСХЕМА, КОРПУС, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ЦИФРОВАЯ АППАРАТУРА, ПОМЕХА, СИГНАЛ, ПРОВОДНИК

На стадии проектирования печатной платы для любого устройства всегда приходится выбирать компоненты из огромного множества. Подбор радиоэлементов может проводиться с учетом различных параметров, исходя из требований к проектируемому устройству. Так, например, в современной цифровой быстродействующей аппаратуре компоненты необходимо подбирать, учитывая внутренние процессы как в самих радиоэлементах, так и в проводниках на печатной плате. Материал, из которого изготовлена печатная плата, так же может существенно повлиять на работу устройства в целом.

Так как в настоящее время наблюдается стремительное и постоянное повышение скорости обработки информации, так же возрастает функциональная сложность интегральных схем, которые реализуют в корпусах той или иной конструкции.

Корпус микросхемы формирует первичную электромагнитную обстановку, которая окружает кристалл и влияет на целостность сигнала, поэтому необходимо понимать каким образом конструкция корпуса влияет на электрические параметры и характеристики микросхемы. Дополнительные искажения сигнала может вызвать и установка микросхемы на плату, так как первичная электромагнитная обстановка изменится под влиянием конструкции самой печатной платы и ее материала.

В данной статье рассматриваются основные электрические параметры микросхем, исходя из которых можно сделать выводы о положительных и отрицательных качествах того или иного типа корпуса.

Рассмотрим несколько типов корпусов интегральных микросхем, а именно:

CPGA (ceramic pin-grid array);

PPGA (plastic pin-grid array);

H-PBGA (high thermal plastic ball grid array);

TCP (tape carrier package);

OLGA (organic land-grid array);

FC-PGA (flip-chip pin-grid array).

При исследовании электрических параметров корпуса его модель должна содержать две части, необходимые для полного понимания тех электрофизических процессов, которые происходят при работе кристалла. Первая описывает модель выводов. Которые определяют путь прохождения сигнала от кристалла к печатной плате. Вторая часть комплексной модели корпуса относится к системе распределения питания. Рассмотрим основные электрические параметры корпусов микросхем, а именно:

сопротивление постоянному току, которое в обычном случае проявляется в виде падения напряжения на соответствующем элементе корпуса, по которому протекает ток. Этот параметр является особо важным для путей протекания токов питания и заземления. Сопротивление постоянному току для вывода корпуса определяется через площадь его сечения и длину, а также через удельное сопротивление материала вывода.

электрическая емкость, которая определяется длиной и размерами сечения вывода, расстоянием между выводом и шиной заземления или питания, диэлектрической проницаемостью окружающих материалов, числом выводов, образующих емкость. Чем выше быстродействие, тем ниже допустимая емкость.

индуктивность, которая является коэффициентом пропорциональности между магнитным потоком, пронизывающим некоторый контур, сцепленный с ним, и током, протекающим в этом контуре. Индуктивность зависит от размеров и формы контура, а также от магнитной проницаемости окружающей среды окружающей среды. Этот аспект весьма важен для определения перекрестных помех и синхронных помех коммутации.

волновое сопротивление – один из важнейших параметров, характеризующий, которая в любом случае содержит два проводника – сигнальный и возвратный.

Так же, в линиях передачи могут возникать перекрестные помехи, что является нежелательным сигналом, поэтому любой разработчик должен принимать меры, чтобы избежать или минимизировать влияние такого эффекта. Данный вид помех возникает при передаче электромагнитной энергии от одной линии передачи к другой. На уровень перекрестных помех влияют близость трасс друг к другу, а также протяженность параллельного участка линий.

Для проведения предварительного анализа уровня перекрестных помех можно использовать простейшую модель, которая включает в себя три

параллельных сигнальных проводника, расположенных на минимальном для принятой технологии расстоянии друг от друга (рисунок 1).

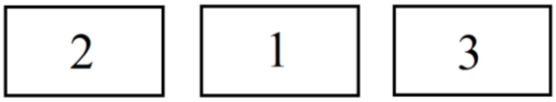


Рисунок 1 - Модель из трех сигнальных проводников

В таблице 1 представлены усредненные индуктивные, а в таблице 2 – усредненные емкостные параметры для рассматриваемой системы проводников в корпусах CPGA, PPGA, TCP, H-PBGA, OLGA и FC-PGA.

Индуктивные параметры, определяющие взаимную связь проводников Таблица 1

Индуктивный параметр, нГн/см	Тип корпуса					
	GPGA	PPGA	TCP	H-PBGA	OLGA	FC-PGA
*L*11	4,26	3,39	5,71	3,39	3,20	2,329
*L*22	4,30	3,42	4,94	3,42	3,15	2,329
*L*33	4,30	3,42	4,94	3,42	3,15	2,329
*L*12	0,79	0,46	2,43	0,46	0,85	0,214
*L*13	0,79	0,46	2,43	0,46	0,85	0,214
*L*23	0,18	0,082	1,33	0,082	0,31	0,055
*L*31	0,79	0,46	2,43	0,46	0,85	0,214
*L*21	0,79	0,46	2,43	0,46	0,85	0,214
*L*32	0,18	0,082	1,33	0,082	0,31	0,055

Данные в таблице 2, имеющие отрицательный знак, необходимо рассматривать как ориентировочные, так как для точного их определения необходимы экспериментальные исследования или применение численных методов расчета.

Моделью для проволочных соединений, штырей и контактных площадок является последовательное соединение резисторов и индуктивностей. Сигнальные трассы представляются линиями передачи с удельными параметрами: сопротивлением по постоянному току, индуктивностью, электрической емкостью и волновым сопротивлением (рисунок 2).

Взаимные емкостные параметры Таблица 2

Емкостный параметр, пФ/см	Тип корпуса					
	GPGA	PPGA	TCP	H-PBGA	OLGA	FC-PGA
*C*11	2,80	1,60	1,25	1,60	1,65	1,707
*C*22	2,68	1,56	1,23	1,56	1,75	1,707
*C*33	2,68	1,56	1,23	1,56	1,75	1,707
*C*12	–0,49	–0,21	–0,48	–0,21	–0,33	–0,126
*C*13	–0,49	–0,21	–0,48	–0,21	–0,33	–0,126
*C*23	–0,022	–0,0092	–0,094	–0,0092	–0,001	–0,008
*C*31	–0,49	–0,21	–0,48	–0,21	–0,33	–0,126
*C*21	–0,49	–0,21	–0,48	–0,21	–0,33	–0,126
*C*32	–0,022	–0,0092	–0,094	–0,0092	–0,001	–0,008

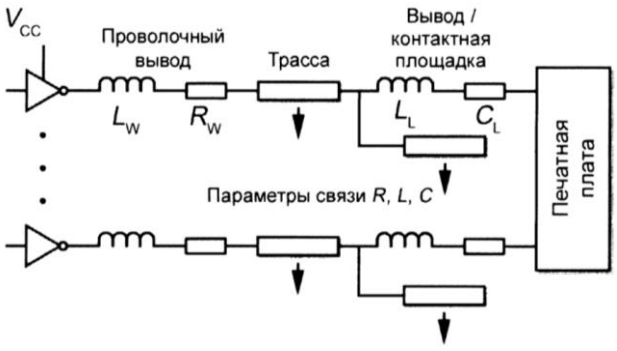


Рисунок 2 - Модель сигнальных выводов в корпусе с многослойной подложкой

Модель контура питания так же можно представить в виде сопротивления и индуктивности (рисунок 3)

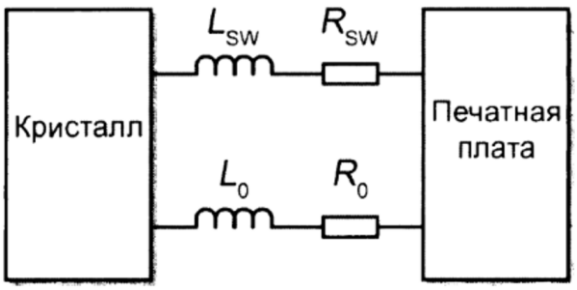


Рисунок 3 - Модель контура питания

Конечной стадией проектирования корпуса является анализ помех синхронной коммутации. Во время одновременного переключения вентилей из одного состояния в другое данный вид помех может проявляться в двух вариантах: как помехи при коммутации, возникающие на шинах питания и заземления или как нарушение временных соотношений. Первый тип помех возникает при реакции индуктивностей шин питания и заземления на изменение тока потребления в системе. Второй тип помех – это разность времен переключения одиночного бита и последовательности битов. Четкость определения возвратного пути и минимизация индуктивности в нем, является основным способом минимизирования помех при синхронной коммутации.

Типичные значения паразитных параметров для корпусов CPGA, PPGA, H-PGBA, OLGA и FC-PGA представлены в таблице 3.

Параметры сигнальных выводов для корпусов с многослойной подложкой Таблица 3

Электрический параметр	Обозначение	Корпус с проволочным соединением			Корпус с перевернутым кристаллом	
		CPGA	PPGA	H-PBGA	OLGA	FC-PGA
Сопротивление проволоки/ шарикового вывода кристалла, мОм	$R_{пр}/R_{вмр}$	126...165	136...188	114...158	2	0,06
Индуктивность проволоки/ шарикового вывода кристалла, нГн	$L_{пр}/L_{вмр}$	2,3...4,1	2,5...4,6	2,1...4,1	0,02	0,013
Сопротивление трассы, мОм/см	R	1200	66	66	590	120
Индуктивность трассы, нГн/см	L	4,32	3,42	3,42	3,07	2,33
Емкость трассы, пФ/см	C	2,47	1,53	1,53	1,66	1,707
Волновое сопротивление трассы, Ом	Z	42	47	47	43	38,5
Сопротивление вывода/шарикового вывода корпуса, мОм	$R_L/R_{вмр}$	20	20	0	8	20
Индуктивность вывода/ шарикового вывода корпуса, нГн	L_L	4,5	4,5	4,0	0,75	2,9
Диапазон длин трасс, мм	l	8,83...26,25	6,60...42,64	4,41...22,24	3,0...18,0	10,0...42,6

Проектировщик должен ориентироваться на худший случай переключения, чтобы быть уверенным в работоспособности системы в любой ситуации.

Таким образом, во время проектирования любого быстродействующего устройства необходимо учитывать процессы, происходящие внутри элементов, так как зачастую описанные выше процессы могут существенно повлиять на сигнал и исказить его. Чтобы минимизировать негативное влияние различных эффектов на целостность сигнала, проектировщик должен понимать, как устроен элемент изнутри.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юрков Н.К., Михайлов В.С., Трусов В.А. // Оценка и прогнозирование остаточного ресурса по результатам биномиальных испытаний, не давших отказы // Надежность и качество сложных систем. 2019. № 3 (27). С. 62-69.

2. Гришко А.К., Лысенко А.В., Моисеев С.А. // Прогнозирование и оптимизация управления процессов проектирования сложных технических систем в масштабе реального времени // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1 (21). С. 40-45.

3. Королев П.С., Лосева М.В. // Исследование влияния коэффициента качества производства аппаратуры на оценку показателей надежности радиотехнических устройств систем связи // Труды международного симпозиума надежность и качество. 2019. № 1. С. 145-146.

УДК 004.832.2

Михеев М.Ю., Прокофьев О.В., Сёмочкина И.Ю.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», Пенза, Россия

СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДРЕВОВИДНЫХ КАРТ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Древовидная карта - это метод визуального представления данных, при котором площадь и цвет прямоугольников представляют две разные метрики. Древовидная карта также может использовать вложенные прямоугольники для представления иерархических отношений. В исследовании собрана информация о способах реализации карт в разных предметных областях. Приведены сведения о разновидностях подходов в построении древовидных карт, перечислены метрики, фильтры, способы раскраски, существенно влияющие на повышение качества работы лица, принимающего решения. Показаны экспериментальные данные, показывающие повышение качества поддержки принимаемых решений, по сравнению с табличным представлением данных. Сделан вывод о потребности в наличии древовидных карт как стандартного компонента приложения для анализа и мониторинга данных в масштабе от отдельного предприятия до «больших данных».

Ключевые слова:

ДЕРЕВЬЯ РЕШЕНИЙ, ДРЕВОВИДНЫЕ КАРТЫ, ГРАФИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ, ИЕРАРХИЧЕСКАЯ КАРТА, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Древовидная карта - это метод визуального представления данных, при котором площадь и цвет прямоугольников представляют две разные метрики [1, 2]. Древовидная карта также может использовать вложенные прямоугольники для представления иерархических отношений. Древовидные карты могут обладать существенными преимуществами по сравнению с табличными данными в корпоративных приложениях благодаря присущей им способности поддерживать интеграцию пользователями различной информации. Используя иерархическую структуру, древовидные карты обеспечивают наглядно организованные отображения информации большого объема. Они появились в результате эволюционного развития систем поддержки принятия решений, использующих деревья решений [3-7]. Имеются экспериментальные данные, доказывающие повышение эффективности работы лиц, принимающих решение, использующих древовидные карты вместо традиционных табличных данных [8], для решения широкого круга задач. В этом исследовании была собрана информация о существующих разновидностях карт, спо-

собах их применения и даны рекомендации по внедрению в разработки соответствующих библиотечных компонент в графический интерфейс DSS.

Профессиональные управленцы, пользующиеся системами поддержки принятия решений, делают больше, чем распознают ожидаемые закономерности в циклах продаж, движениях в цепочках поставок или доходности в производстве. Успешные менеджеры умеют замечать исключительные события, выявлять возникающие часто повторяющиеся события и замечать, чего не хватает. Когда проблемы развиваются, они предпринимают быстрые действия, чтобы привести планы в соответствии с графиком. Когда появляются новые тенденции, они меняют планы, чтобы воспользоваться открывающимися возможностями. Принимать обоснованные и своевременные решения [9] - непростая задача, особенно когда объем и темп деятельности высоки. Опыт и интуиция остаются важными, но необходимо генерировать разумные альтернативы на основе точной информации. Ставшее повседневностью использование баз данных, хранилищ данных, появление больших данных из внутренних и внешних источников обеспечивает бизнес-аналитику, необходимую для выявления тенденций, выявления выбросов и выявления пробелов. Программное обеспечение, которое производит визуальное отображение результатов поиска с интерактивным исследованием, теперь стало широко доступным.

Одно семейство новых инструментов - информационные панели для всей организации и для менеджеров, которые помогают обеспечить ежедневное или даже ежеминутное понимание ситуации, представляя текущий статус и оповещения. Эти информационные панели используют пространственные презентации, цветные метры и пиктограммы, чтобы сразу получить информацию, которая указывает на то, что все в порядке или что необходимы действия.

Второе семейство новых инструментов - это более мощное программное обеспечение для визуализации информации и визуального анализа, которое поддерживает исследование критически важных ресурсов данных. Тщательно продуманные визуальные представления позволяют в считанные секунды увидеть поведенческие паттерны, временные тренды, корреляции, кластеры, разрывы и выбросы. Поскольку сканирование табличных данных отнимает много времени и является трудным делом, эффективные визуальные презентации приобретают все большую ценность.

Обучение и опыт использования этих новых инструментов важны для получения максимальной выгоды, так как несколько специалистов в области статистики или анализа данных могут разработать дисплеи, которые могут эффективно использовать сотни менеджеров. Эта стратегия поддерживается разработчиками коммерческого программного обеспечения, которые предоставляют мощные студийные наборы инструментов для дизайнеров, чтобы создавать упрощенные дисплеи, которые удовлетворяют потребности конкретных менеджеров. Соответствующие конструкции пользовательского интерфейса могут интегрировать интеллектуальный анализ данных с визуализацией информации, чтобы пользователи могли принимать эффективные решения.

Среди растущего семейства инструментов визуального анализа быстро развиваются древовидные карты в организациях, которым требуется ежедневный мониторинг сложных операций с тысячами продуктов, проектов или продавцов. Табличные отчеты, гистограммы, линейные графики и диаграммы разброса являются важными инструментами, но для сложных операций, где имеется множество регионов продаж, производственных предприятий или производственных линий, иерархические структуры, предоставляемые древовидными картами, могут быть полезны. В то время как табличные дисплеи и электронные таблицы могут отображать 30-60 строк за раз на типичных дисплеях, красочные презентации в древовидных картах могут вместить сотни или тысячи элементов в осмысленно организованном дисплее, который позволяет определять шаблоны и исключения в считанные секунды.

Древовидные карты - это заполняющий пространство подход к отображению иерархий, в которых прямоугольное пространство экрана разделяется на области, а затем каждая область снова разделяется для каждого уровня в иерархии. Первоначальной мотивацией для древовидных карт было визуализировать содержимое жестких дисков с десятками тысяч файлов в 5-15 уровнях каталогов. Было создано много реализаций древовидной карты, например, карта SequoiaView [1], которая позволяет просматривать жесткий диск. На рисунке 1 область указывает размер файла, а цвет (здесь – оттенок серого) показывает тип файла.

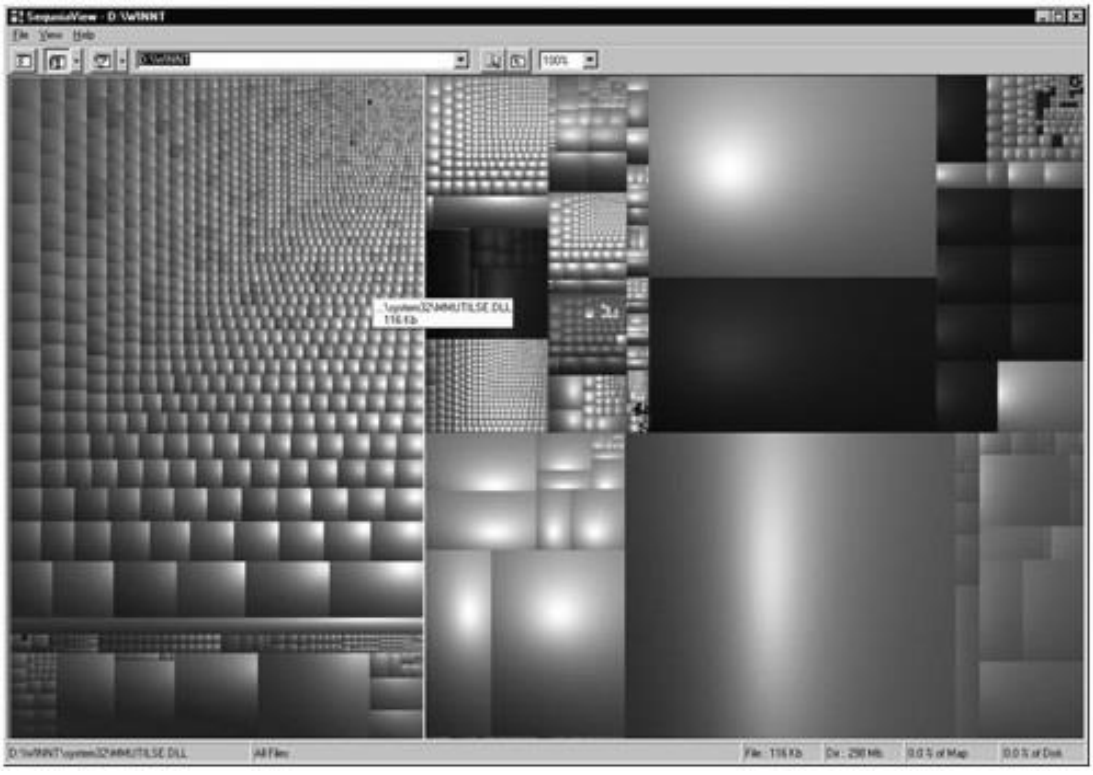


Рисунок 1 - SequoiaView использует древовидные карты
для отображения содержимого жесткого диска [1]

Рассмотрим другие примеры применения этого инструментального средства.

Приложение SmartMoney Magazine показывает 600 акций, организованных по отраслям и подотраслям в трехуровневой иерархии. Область обозначает рыночную капитализацию, а цвет показывает рост или падение цен. Пользователи знакомятся с отраслевыми группами и конкретными акциями, поэтому, когда одна группа (например, энергетические акции) не работает, они сразу же замечают. Древовидные карты акций особенно интересны в те дни, когда отраслевая группа в основном падает (отображается красным цветом), а одна компания растет (зеленым).

Приложения бизнес-аналитики являются важным местом применения древовидных карт The Hive Group, которые широко используются для анализа страховых претензий, мониторинга продаж продукции и добычи нефти и газа. Пример управления продажами, который доступен для вашего интерактивного исследования: на основном дисплее отображаются 200 торговых представителей в шести торговых регионах, причем размер показывает общий объем продаж за квартал. Зеленые регионы обозначают квоту выше, а красные ниже квоты (плана). Этот пример показывает типичную смешанную картину с некоторыми высокопроизводительными и низкоэффективными торговыми представителями. Простое перемещение курсора по любому региону или заголовку группы создает всплывающее окно с подробной информацией. Чтобы получить представление о лучших торговых представителях, пользователи могут использовать фильтры на правой панели управления. Обращаясь к проблемам, пользователи могут использовать фильтры, чтобы удалить все, кроме тех, которые работают намного ниже квоты.

Другое успешное приложение для древовидных карт предназначено для поиска и выбора товаров из электронного каталога в Интернете. Группа Hive ежедневно предоставляет обновления о сотнях тысяч продуктов от Amazon.com. Это позволяет пользователям видеть, например, все доступные цифровые зеркальные камеры, сравнивать цены и просматривать рейтинги клиентов. Камеры могут быть сгруппированы по производителю, ценовым диапазонам или функциям. Потребители могут быстро увидеть весь спектр цен, сравнить характеристики и увидеть рейтинги клиентов, и все это помогает им обрести уверенность, необходимую для принятия решения о покупке. Другим примером для потребителя, который оказался успешным, является Peets Coffee Selector (дерево выбора кофе) - древовидная карта, которая, согласно опросу клиентов, предпочтительна по сравнению с табличным представлением продуктов.

Базовая древовидная карта занимает всего несколько минут для изучения, но есть широкий спектр расширенных функций, которые значительно повышают ценность

высокопроизводительными продавцами или теми, кто не соблюдает квоты в регионах, где большинство продавцов превышают квоту. Еще один способ увеличения разделов - использовать весь экран, чтобы показать только некоторые ветви иерархии.

Алгоритм древовидной карты, используемый во многих коммерческих приложениях, основан на квадратной стратегии, которая делает каждый квадрат как можно более квадратным, обычно помещая большие квадраты в верхнем левом углу и маленькие квадраты в нижнем правом. Это визуально привлекательно и полезно для понимания различий в размерах. Иногда важно поддерживать порядок элементов по имени или дате, и в этом случае полезны алгоритмы построения древовидной карты, сохраняющие этот порядок.

Процесс совершенствования связан с апробацией различных идей дизайна и семантики графических элементов. Например, круговые древовидные карты создают визуально привлекательный макет и полезную идею, потому что вложение объектов хорошо видно. Хотя при этом возникает неиспользуемое пространство на карте, тем не менее, это отображение иерархии может быть интересным для ряда приложений. Улучшения непрерывны, так как пользователи применяют древовидные карты для еще более широкого круга проблем.

Подтверждающие данные получены в результате контролируемого эксперимента по сравнению электронных таблиц с программным обеспечением для древовидных карт. Исследование Oracle показало, что древовидные карты были значительно быстрее для всех восьми протестированных задач [8]. Эти результаты показывают, что древовидные карты реализуют свои преимущества в качестве стандартного графического компонента в приложениях для анализа и мониторинга данных не только на уровне предприятия, но и на уровне «больших данных» [10], а также соответствуют требованиям к системам поддержки принятия решений 2-го поколения [11, 12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Shneiderman, B. Using Treemap Visualizations for Decision Support, DSSResources.COM, 06/23/2006

2. Shneiderman, B., Plaisant C. Treemaps for space-constrained visualization of hierarchies. http://www.cs.umd.edu/hcil/treemap-history/

3. Методы анализа данных и их реализация в системах поддержки принятия решений. Аспекты инжиниринга информационно-измерительных систем: учебное пособие/ А.И.Белозерцев, М.Ю.Михеев, О.В.Прокофьев, И.Ю.Семочкина. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2018. — 148 с.

4. Методы и средства поддержки принятия решений в социально-экономических задачах/ О.В.Прокофьев, И.Ю.Семочкина. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2010. — 100 с.

5. Компьютерная поддержка принятия решений для управления социально-экономическими системами/ И.А.Долгова, О.В.Прокофьев. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2012. — 116 с.

6. Методы анализа данных и их реализация в системах поддержки принятия решений: учебное пособие/ М.Ю.Михеев, О.В.Прокофьев, И.Ю.Семочкина. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2014. — 118 с.

7. Концепция и способы построения систем поддержки принятия решений на основе интеллектуального анализа данных// Системы интеллектуального анализа данных: методология, реализация, приложения (монография)/ О.В. Прокофьев. — Пенза: АННОО ПДЗ (Пенза), 2013. — Гл.1.2. — С.22-40.

8. J. H. Goldberg, J. Helfman. Enterprise Network Monitoring Using Treemaps. Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings. September 2005, p.671-675. DOI: 10.1177/154193120504900508

9. Михеев, М.Ю. Прогнозирование литеральных ситуаций по коротким временным рядам/ М.Ю.Михеев, О.В.Прокофьев, А.Е. Савочкин // Труды международного симпозиума – Надежность и качество. – 2017. – Т.1. – С. 320-324.

10. Николаев, А.В. Большие данные для нового качественного уровня электроэнергетики / А.В.Николаев, О.В.Прокофьев, М.В.Тюрин, А.Н.Токарев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т.2. – С.102-104.

11. G.E. Phillips-Wren, S. Carlsson, A. Respício. DSS 2.0 - Supporting Decision Making With New Technologies. IOS Press, 2014, p. 604

12. International Federation For Information Processing. Technical Committee 8. Working Group 8.3. http://ifiptc8.dsi.uminho.pt/index.php/events?wg=8.3

УДК 621.396.677: 519.711.3

Якимов А.Н.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Санкт-Петербург, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГИКИ ПРЕДИКАТОВ В МОДЕЛЯХ МИКРОВОЛНОВЫХ АНТЕНН, РЕАЛИЗУЕМЫХ В MATLAB

Рассмотрены возможности использования логики предикатов при построении математических моделей микроволновых антенн в среде MATLAB. Показано, что при внешних тепловых и механических воздействиях на микроволновые антенны различных типов существенно деформируются их конструкции и изменяются характеристики излучения. Конечно-элементный подход к математическому моделирования этих процессов с использованием логики предикатов и матричных представлений позволяет учесть сложную пространственную конфигурацию деформированной излучающей поверхности и оценить возникающие изменения характеристик излучения. Приведены процедуры, позволяющие с использованием логики предикатов и матричных представлений в среде MATLAB решить задачи однозначного определения пространственного положения конечных элементов излучающей поверхности антенны, ширины главного лепестка и максимального уровня боковых лепестков ее диаграммы направленности (ДН). Дана оценка полученным результатам и перспективе их использования в проектировании микроволновых антенн с учетом внешних воздействий.

Ключевые слова:

МИКРОВОЛНОВАЯ АНТЕННА, ДЕФОРМАЦИЯ, ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ, ЛОГИКА ПРЕДИКАТОВ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), проекты №18-07-00110 А, №18-07-00111 А

Введение

Математическое моделирование различных микроволновых антенн (зеркальных, волноводно-щелевых, полосковых) позволяет исследовать связь их геометрических и электрофизических параметров с характеристиками излучения еще на этапе проектирования. Однако, при построении математической модели антенны, работающей в условиях внешних тепловых и механических (вибрационных, ударных) воздействий возникает проблема оценки пространственного положения отдельных участков излучающей поверхности, которое они приобретают вследствие возникающих деформаций, а также контроля параметров ДН, изменяющихся при этом.

Так как излучающая поверхность микроволновой антенны вследствие возникающих деформаций приобретает сложную пространственную конфигурацию, то решение задачи об излучении такой антенны не может быть получено строгими аналитическими методами. Однако с учетом того, что электромагнитное поле, формируемое антенной в заданной точке пространства, в соответствии с теорией электромагнитных волн является суперпозицией полей, создаваемых токами различных элементов излучающей поверхности, появляется возможность ее дискретизации [1].

Дискретное представление микроволновой антенны позволяет получить численное решение задачи моделирования ее излучения с учетом влияния внешних деформирующих воздействий путем деления (декомпозиции) ее излучающей поверхности с использованием метода конечных элементов (КЭ). При построении математических моделей, учитывающих сложную пространственную конфигурацию деформированных антенн, перспективно использования логики предикатов [2-4].

При конечно-элементном подходе к математическому моделированию процессов излучения деформированных излучающих поверхностей микроволновых антенн удобно использовать матричные представления в среде MATLAB. В связи с этим, дополнительный интерес представляют особенности использования логики предикатов в этой среде моделирования при построении моделей, а также при контроле параметров ДН проектируемой микроволновой антенны.

Основная часть

При использовании метода КЭ для построения математической модели микроволновой антенны, учитывающей влияние внешних воздействий, гладкая излучающая поверхность заменяется многогранной поверхностью ее аппроксимации. При этом в качестве КЭ разбиения излучающей поверхности выбирается плоский треугольный элемент, который по сравнению с прямоугольным элементом аппроксимирует излучающую поверхность более точно, так как треугольники, составляющие прямоугольный элемент, при их расположении на криволинейной излучающей поверхности оказываются некомпланарными. Применение такого подхода обеспечивает непрерывность исходной функции, описывающей форму излучающей поверхности, на границах между треугольными КЭ, которая гарантируется равенством значений функции в совпадающих вершинах треугольников, а также позволяет сохранить независимость аппроксимации от расположения КЭ по отношению к глобальной правой декартовой системе координат *Oxyz*. При этом поверхность локально определяется значениями функции в вершинах треугольников и поэтому не изменяется при переопределении осей *x*, *y* и *z* [3].

Однако, такой подход к дискретизация приводит к необходимости формирования двух матриц КЭ излучающей поверхности (для верхних и нижних КЭ, составляющих прямоугольный элемент), для оценки суммарного поля всех источников, составляющих излучающую поверхность. При этом математическое описание позволяет определить пространственное положение составляющих векторов электрического поля E, формируемых каждым из КЭ излучающей поверхности. Это является основой для расчета поля излучения антенны в дальней зоне, представляемого суперпозицией полей, формируемых КЭ с учетом амплитуд и фаз, а также их векторного характера [5].

Рассмотрим возможности решения поставленной задачи на примере осесимметричной зеркальной параболической антенны, изначально имеющей сложную пространственную конфигурацию. Если в плоскости *Oxy* задать некоторую квадратную рабочую область, состоящую из $M \times N$ дискретных элементов, то проекция излучающей поверхности на эту область примет вид, представленные на рис. 1.

Здесь приняты следующие обозначения: *m*, *n* – номера столбца и строки матрицы рабочей области; *p*1, *p*2, *p*3 – узловые точки треугольного КЭ излучающей поверхности. При этом, фазовые центры излучающих элементов с индексами *mn* совпадают с геометрическими центрами КЭ, определяемыми по координатам их

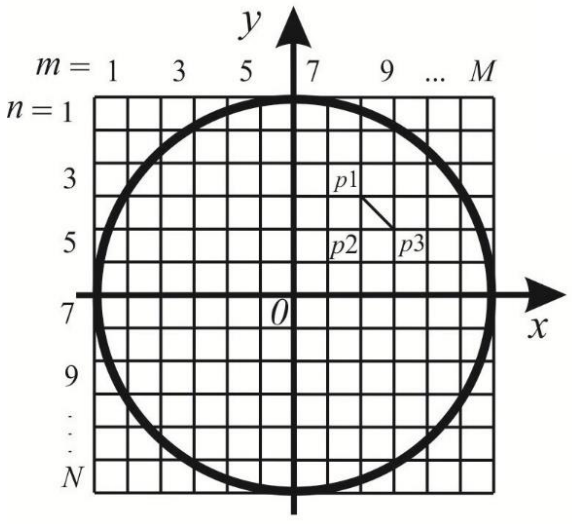


Рисунок 1 - Дискретизация излучающей поверхности зеркальной антенны

узловых точек, содержатся в матрицах координат размерностью $M \times N$, а координаты узловых точек jk в матрицах размерностью $J \times K$, причем $J = M + 1$, а $K = N + 1$.

Вектор напряженности суммарного электрического поля $\boldsymbol{E}_{p\Sigma}$, создаваемого такой системой элементарных излучателей микроволновой антенны в точке наблюдения P, при этом сводится к суммированию полей $\boldsymbol{E}_{pmn}$, создаваемых КЭ излучающей поверхности, с учетом векторного характера, амплитуд и фаз их электромагнитных волн:

$$\boldsymbol{E}_{p\Sigma} = \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} \boldsymbol{E}_{pmn}. \qquad (1)$$

Правильность векторного сложения отдельных составляющих поля обеспечивается введением локальных систем координат с началами в центрах КЭ и учетом их ориентации относительно глобальной системы координат $Oxyz$. Сложность геометрической модели криволинейной излучающей поверхности антенны диктует необходимость совместной обработки геометрической, логической и аналитической информации. В связи с этим перспективным оказывается использование в численных расчетах логики предикатов [4].

Предикатный подход к решению технических задач получил свое развитие в работах по векторной комплементарной алгебре, частной реализацией которой является предикатная алгебра выбора (ПАВ). В основе ПАВ лежит положение о том, что расширенный класс функций Z порождается операциями суперпозиции [6, 7]

$$z = V_A(\boldsymbol{Y}) = a_1 y_1 + a_2 y_2 + \ldots + a_n y_n, \qquad (2)$$

где $V_A(\boldsymbol{Y})$ – символ скалярного произведения векторов A и Y; $\boldsymbol{A} = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ – вектор весовых коэффициентов; $\boldsymbol{Y} = (y_1, y_2, \ldots, y_n)$ – вектор предметных переменных. При этом обязательным является выполнение условия комплементарности, в соответствии с которым

$$a_1 + a_2 + \ldots + a_n = 1 \quad a_i \in \{0,1\}, \quad i = 1, 2, \ldots, n. \qquad (3)$$

Здесь весовые коэффициенты a_i являются двузначными предикатами, а элементарными функциями, воспроизводящими операции выбора одной из двух переменных, являются предикатные конъюнкция и дизъюнкция.

Таким образом, в соответствии с положениями ПАВ, специфика отдельных участков излучающей поверхности антенны может быть задана вектором предметных переменных Y, элемент которого, соответствующий заданному участку поверхности, выбирается двузначным предикатом (весовым коэффициентом, равным 1), определяемым операциями конъюнкции или дизъюнкции.

Так как в каждом квадранте своя пространственная ориентация КЭ, свои краевые условия их возбуждения падающим электромагнитным полем облучателя, то условия комплиментарности (3) могут быть легко выполнены:

$$a_1 + a_2 + a_3 + a_4 = 1, \qquad (4)$$

где $a_i \in \{0,1\}$ – весовые коэффициенты квадрантов, каждый из которых равен 1 только в своем квадранте, а в других квадрантах равен 0; $i = 1, 2, \ldots, n$ – номер квадранта; $n = 4$.

Сформируем такие коэффициенты для квадрантов декартовой системы координат (см. рис. 1) для четного числа излучателей вдоль осей x и y с учетом сканирования матрицы координат центров КЭ излучающей поверхности слева направо и сверху вниз:

$$\begin{cases} a_1 = (m > M_C) \wedge (n \le N_C), \\ a_2 = (m \le M_C) \wedge (n \le N_C), \\ a_3 = (m \le M_C) \wedge (n > N_C), \\ a_4 = (m > M_C) \wedge (n > N_C), \end{cases} \qquad (5)$$

где $M_C = M/2$; $N_C = N/2$.

Тогда операция суперпозиции элементов вектора предметных переменных $U = (u_1, u_2, \ldots, u_n)$ с этими весовыми коэффициентами позволит подключать их независимо для каждого квадранта и получить результат G:

$$G = u_1 a_1 + u_2 a_2 + \ldots + u_n a_n. \qquad (6)$$

В качестве предметных переменных здесь могут выступать геометрические параметры КЭ и ребер, образующих края излучающей поверхности, или формулы, описывающие ДН излучающих элементов с учетом отклонений их максимумов характерные только для заданных квадрантов.

Программная реализация процедур, позволяющих с использованием логики предикатов и матричных представлений в среде MATLAB решить задачи однозначного определения пространственного положения конечных элементов излучающей поверхности рассмотренной антенны будет следующей [8].

```
%Процедура определения принадлежности к квадранту
a1=(m>Mc)&(n<=Nc);
a2=(m<=Mc)&(n<=Nc);
a3=(m<=Mc)&(n>Nc);
a4=(m>Mc)&(n>Nc).
```

Здесь коэффициенты a1, a2, a3, a4 соответствуют квадрантам 1, 2, 3 и 4.

Рассмотрим процедуры, позволяющие с использованием логики предикатов и матричных представлений в среде MATLAB решить задачу определения ширины главного лепестка и максимального уровня боковых лепестков ее ДН.

Осесимметричная зеркальная параболическая антенн имеет амплитудную ДН следующего вида (рис. 2).

На рис. 2 приняты следующие обозначения: $F(\varphi)$ – функция, описывающая амплитудную ДН антенны в горизонтальной плоскости; φ – функция угол относительно оси излучения антенны в направлении точки

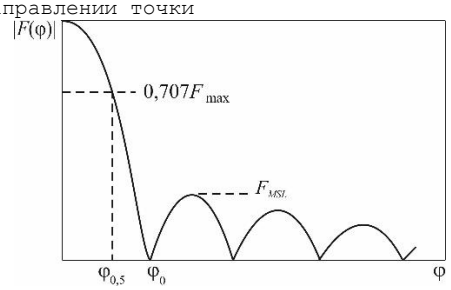


Рисунок 2 – Амплитудная ДН остронаправленной антенны в горизонтальной плоскости

наблюдения в горизонтальной плоскости; $\varphi_{0,5}$, φ_0 – половина ширины главного лепестка ДН на уровне половинной мощности (соответствует 0,707 F_{max}, т.е. 0,707 от максимального уровня главного лепестка ДН по полю) и на уровне нулевой мощности соответственно; F_{MSL} – максимальный уровень боковых лепестков ДН.

Важным этапом расчета ДН антенны путем суперпозиции составляющих электрического поля является выбор плоскости угловой зависимости амплитуды суммарного поля $E_{p\Sigma}$. Нормированная ДН в горизонтальной плоскости при этом описывается функцией

$$F(\varphi) = E_{p\Sigma}(\varphi)/E_{p\Sigma max}, \qquad (7)$$

где $E_{p\Sigma max}$ – максимальный уровень электрического поля в направлении оси антенны.

В этом случае удобно использовать процедуры, содержащие логику предикатов. Алгоритм расчета при этом может быть следующим:

выбираем главное сечение ДН $F(\varphi)$ в заданной плоскости угла φ, путем присвоения значения углу $\theta = 0^0$ относительно оси антенны в направлении точки наблюдения;

исключаем из расчета по формуле (7) особой точки $\varphi = 0^0$, при которой может возникать деление на 0;

присваиваем при $\varphi = 0^0$ функции $F(\varphi)$ значение 1;

обеспечить при других значениях φ расчет по формуле (7).

Данная процедура в среде MATLAB будет иметь следующий вид.

```
%Процедура выбора формулы для расчета ДН
a1=(TT=0)&(FI=0);
a2=(TT=0)&(FI>0););
F= a1*1+a2* Fg.
```

Здесь a1, a2 – коэффициенты выбора формулы; TT, FI – углы θ и φ соответственно; F – формула $F(\varphi)$; Fg – формула $F(\varphi)$ на интервале $\varphi > 0^0$.

В результате расчета ДН антенны в горизонтальной плоскости мы получаем матрицу в виде вектора-строки, содержащую амплитудные значения ДН $F(\varphi)$ при фиксированных значениях угла φ, полученных с заданным интервалом. Это позволяет использовать стандартные процедуры MATLAB для определения параметров ДН: ширины $2\varphi_{0,5}$ и максимального уровня боковых лепестков F_{MSL} [8, 9].

Решить эту задачу можно путем нахождения экстремума функции, описывающей ДН на заданном отрезке. В системе MATLAB для нахождения максимального и минимального элементов массива, представленного в виде матрицы, существуют специальные функции max и min соответственно.

Для определения ширины ДН на уровне половинной мощности (0,707 максимального нормированного уровня 1 по полю) функция, описывающая ДН, должна быть представлена как $F_1(\varphi) = |F(\varphi) - 0{,}707|$, т. е. уровень анализа ДН при $\varphi_{0,5}$ приводится к значению, близкому к нулю. Применив к функции $F_1(\varphi)$ оператор min можно получить значение $\varphi \approx \varphi_{0,5}$. При всех остальные значениях φ величина $F_1(\varphi)$ оказываются больше чем $F_1(\varphi_{0,5})$. Удвоением $\varphi_{0,5}$ получаем искомый результат.

Задав интервал углов $\varphi > \varphi_0$ и применив оператор MATLAB max к матричному представлению функции $|F(\varphi)|$, можно определить максимум уровня боковых лепестков F_{MSL}.

Таким образом, рассмотренные процедуры, использующие логику предикатов и матричные представления, позволили успешно решить поставленную задачу в среде программирования MATLAB.

Заключение

Процедуры, использующие логику предикатов и матричные представлений в среде MATLAB, позволяют решить задачи однозначного определения пространственного положения конечных элементов излучающей поверхности микроволновой антенны, а также ширины главного лепестка и максимального уровня боковых лепестков ее диаграммы направленности. Полученные результаты указывают на хорошие перспективы использования логики предикатов и матричных представлений в проектировании микроволновых антенн с учетом внешних воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов, А.А. Теория электромагнитных волн/ А.А. Семенов. – М.: Изд-во МГУ, 1968. – 320 с.

2. *Якимов, А.Н.* Проблемы моделирования излучения антенн с учетом влияния возмущающих воздействий/ А.Н. Якимов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество.– 2013. – Т 1 – С. 86-89.

3. Якимов, А.Н. Дискретное представление микроволновой антенны со сложной пространственной конфигурацией/ А.Н. Якимов // Радиотехника. – 2017. – №5. – С. 91-98.

4. Якимов, А.Н. Предикатная алгебра выбора в моделировании антенн сложной конфигурации / А.Н. Якимов // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 78–83.

5. *Якимов, А.Н.* Технология определения пространственной ориентации локальных участков деформированных поверхностей / А.Н. Якимов// Труды Международного симпозиума Надежность и качество.– 2016. – Т 1 – С. 49-52.

6. Рвачев, В.Л. Проблемно-ориентированные языки и системы для инженерных расчетов/ В.Л. Рвачев, А.Н. Шевченко. – Киев: Техника, 1988. – 197 с.

7. Волгин, Л.И. Элементарный базис комплементарной алгебры: комплементарный релятор / Л.И. Волгин. – Проектирование и технология электронных средств. – 2001 – №1. – С. 10-11.

8. *Дьяконов В.П.* MatLAB 5.3.1 с пакетами расширений/ В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова, В.В. Круглов; под ред. В.П. Дьяконова. – М.: Нолидж, 2001. – 880 с.

9. Якимов, А.Н. Методы определения параметров при расчете диаграммы направленности антенны/ А.Н. Якимов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 74-75.

УДК 623.746.4-519

Шерстнев В.В., Безбородова О.Е., Бодин О.Н.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

К ВОПРОСУ О НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Для повышения эффективности проведения поисково-спасательных работ в зоне чрезвычайной ситуации предлагается использовать навигацию беспилотных воздушных судов специального назначения с использованием RFID-систем, состоящих из RFID-метки и RFID-ридера. Рассчитана надежность применения таких систем и показано, что с увеличением количества RFID-меток вероятность безотказной работы всей системы увеличивается и, следовательно, повышается эффективностьпроведения поисково-спасательных работ в зоне чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова:

РАДИОМЕТКА, RFID-СИСТЕМА, НАДЕЖНОСТЬ, БЕСПИЛОТНОЕ ВОЗДУШНОЕ СУДНО, ЧРЕЗВЫЧАЙНАЯ СИТУАЦИЯ, ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

В настоящий момент идея применения беспилотных воздушных судов (БВС) при ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) является чрезвычайно актуальной. Даже Европейская ассоциация номеров экстренных служб – EENA (European Emergency Number Association) – заявила о намерениях использования БВС при проведении поисково-спасательных работ (ПСР) в зонах ЧС. Кроме того, БВС планируют применять для непрерывного контроля состояния как потенциально опасных территорий, так и уже пострадавших районов, с передачей детектируемой информации соответствующим органам управления. Основные направления применения БВС можно разделить на группы: обнаружение ЧС, участие в ликвидации ЧС, поиск и спасение пострадавших [1].

С БВС проще и безопаснее для спасателей обнаружить ЧС в лесных массивах, на водных акваториях и береговых линиях во время угрозы наводнений, проводить анализ воздуха. Полученная информация может обрабатываться в режиме реального времени, поступая по каналам связи на пункт управления. Все это позволит оперативно оценить текущую ситуацию и значительно сократить жертвы и масштабы обнаруженных ЧС.

Включение БВС в состав сил и средств, направленных на ликвидацию ЧС позволит заменить ими самолеты и вертолеты при проведении работ с высоким риском для жизни экипажа и исключить потерю дорогостоящих пилотируемых авиационных средств. Такие аппараты могут стать незаменимыми при проведении ПСР на суше и море. Поиск может проводиться по заранее введенному полетному заданию, которое также может быть всегда скорректировано оператором. Помимо этого, БВС могут быть использованы при доставке необходимых медикаментов в зоны ЧС, тем самым спасая жизнь многим людям.

Это лишь возможные примеры применения БВС для задач экстренных служб. Однако для того, чтобы БВС могли эффективно использоваться экстренными службами, к ним выдвигаются определенные требования. Должна обеспечиваться возможность обмена

сигналами с БВС на больших расстояниях, возможность длительного (в течение нескольких часов) полета, защита от воздействия помех и потери связи с оператором. Кроме того, в любой сфере применения весьма важным является вопрос обеспечения надежной навигации БВС в зоне ЧС.

В настоящее время определение местоположения мобильных объектов может осуществляться с использованием технологий GPS, GSM, Bluetooth, Wi-Fi, RFID [4]. Каждая из этих технологий обладает своими достоинствами и недостатками.Так, например, использование GPS ограничивается наличием преград между объектом и спутниками. GSM, кроме того, отличается еще более низкой точностью, а также невозможностью отслеживания третьей координаты объекта (высоты его местоположения).

Альтернативой этим технологиям послужило бы размещение в зоне ЧС станцийWi-Fi или Bluetooth. Причем Bluetooth предпочтительнее за счет более высокой точности определения местоположения координат объекта (может достигать 1 метра и зависит от количества Bluetooth-маяков). Технология Bluetooth является более дешевой относительно Wi-Fi и поэтому является основным инструментом навигации внутри сооружений.

Наиболее перспективной технологией навигации и обнаружения мобильных объектов является RFID-технология. RFID (от английского Radio Frequency IDentification, радиочастотная идентификация) – метод автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются и/или записываются данные, хранящиеся в так называемых RFID-метках. Любая RFID-система состоит из считывающего устройства (ридер) и RFID-метки (транспондер).

Для определения местоположения объекта могут использоваться как пассивные, так и активные RFID-метки. Последние обладают собственным источником питания, что обеспечивает их чтение на большом расстоянии, в агрессивных средах, это делает их незаменимыми для использования в условиях ЧС. При этом достоинствами меток являются возможность многократной перезаписи, большой объем хранимых данных (RFID-метка может хранить на чипе площадью в 1 квадратный сантиметр до 10000 байт информации), нет необходимости в прямой видимости для считывания информации, большое расстояние чтения (до нескольких сотен метров), устойчивость к воздействию внешних факторов, интеллектуальность, так как RFID-метка может не только переносить данные, но и выполнять другие задачи. Данные на метке могут шифроваться. Радиочастотная метка может закрывать паролем операции записи и считывания данных, а также зашифровывать их передачу. В одной метке можно одновременно хранить открытые и закрытые данные.

Размещение RFID-меток в зоне ЧС и использовании их в качестве «маяков» для определения местоположения объектов, оснащенных ридером, значительно упростило бы процесс навигации таких объектов (см. рисунок 1).

Большинство RFID-меток состоит из антенны для приема и передачи сигнала и интегральной схемы, хранящей информацию о данной метке и имеющей возможность обмена сигналами с RFID-ридером.

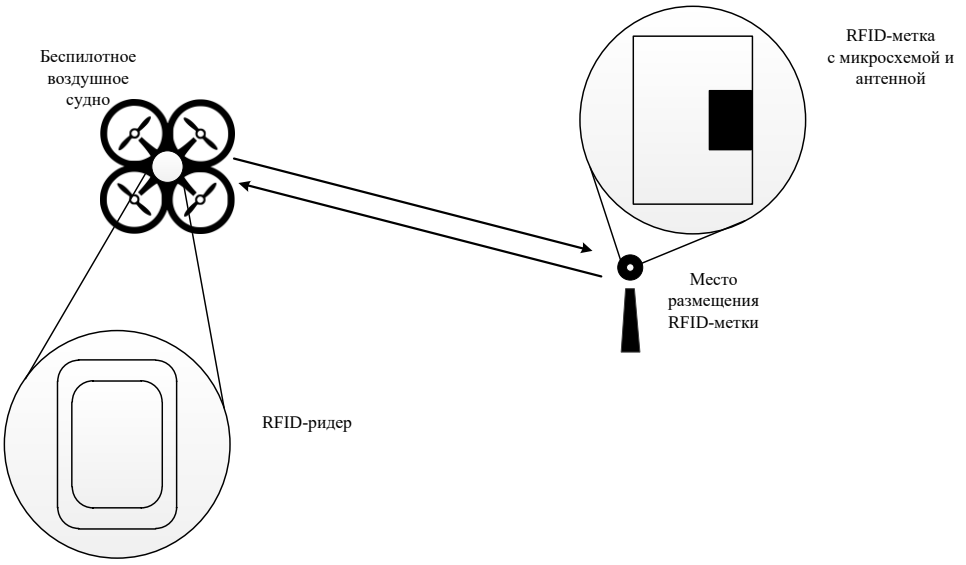


Рисунок 1 - Схема размещения элементов RFID-системы (RFID-ридера и RFID-метки)

Перспективы использования данной технологии в условиях ЧС напрямую зависят от надежности ее компонентов - RFID-меток. Это влияет на схему размещения меток на местности, а также количество запасных меток, предназначенных для срочной замены вышедших из строя устройств.

Надежность является комплексным понятием, показателями которого являются [5] безотказность, ремонтопригодность, долговечность, сохраняемость. В свою очередь, в условиях ЧС наиболее актуальным является безотказность компонентов RFID-навигации: агрессивные среды (вода, преграды, наличие в воздухе дыма) заставляют предъявлять высокие требования к RFID-меткам. А поскольку использование данной технологии предполагает размещение меток лишь на время локализации и/или ликвидации ЧС, вопросы ремонтопригодности, долговечности и сохраняемости меток в данной статье рассматриваться не будут.

Основной характеристикой безотказности элементов является интенсивность отказов λ, указываемая в технических условиях [6]. Тем не менее, реальные условия эксплуатации элементов, в особенности в условиях ЧС, являются более агрессивными по сравнению с нормальными. В связи с этим для характеристики безотказности RFID-меток, работающих под воздействием различных эксплуатационных факторов, используется понятие эксплуатационной безотказности элементов $\lambda_э$ [5]:

$$\lambda_э = \lambda \prod_{i=1}^{m} K_i \qquad (1)$$

где m – количество факторов, влияющих на эксплуатацию RFID-метки;

K_i – коэффициент, учитывающий влияние i-го фактора на работу RFID-метки.

Наиболее целесообразно учитывать безотказность важнейшего элемента большинства RFID-меток – интегральной схемы, содержащей запоминающее устройство и приемопередатчик. Данный показатель зависит от следующих факторов и рассчитывается по формуле:

$$\lambda_э = \lambda_Б K_Р K_{ИС} K_{корп} K_V K_Э K_П \qquad (2)$$

где $\lambda_Б$ – базовая интенсивность отказов RFID-метки;

$K_Р$ – коэффициент режима работы;

$K_{ИС}$ – коэффициент, учитывающий количество элементов в ИС;

$K_{корп}$ – коэффициент, учитывающий тип корпуса устройства;

K_V – коэффициент, учитывающий напряжение питания CMOS;

$K_э$ – коэффициент эксплуатации RFID-метки;

$K_П$ – коэффициент приемки устройства.

Базовая интенсивность отказов$\lambda_Б$ для интегральной схемы RFID-метки, то есть интенсивность отказов при номинальной электрической нагрузке (коэффициент электрической нагрузки$K_н$равен 1) и температуре окружающей среды +25°С составляет $0{,}043\times10^{-6}$ $ч^{-1}$.

Коэффициент режима работы зависит от $K_Н$ и температуры корпуса устройства:

$$K_Р = 0{,}045\exp(3{,}1K_{обл})\exp\left[B(t_{окр}-25)\right] \quad (3)$$

где $K_{обл}$ – отношение рабочей электрической нагрузки к максимально допустимой, составляет 0,7;

$t_{окр}$ – температура окружающей RFID-метку среды, за значение которой принят верхний предел диапазона рабочих температур эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры и приборовв сложных условиях (что целесообразно в условиях ЧС), +50 °С [7];

B– константа, равная 0,024.

Для вычисления $K_{ИС}$ используется формула:

$$K_{ИС} = AN^S \quad (4)$$

где A, S – табличные данные [8];

N – количество элементов в ИС.

При использовании RFID-метки в полимерном корпусе$K_{корп} = 1$.

Значение K_V составляет 1 (при напряжении питания до 10 В, что для RFID-меток является достаточным).

Значение$K_э$ зависит от условий эксплуатации устройства и составляет 1,7 (эксплуатация, стационарно, переносной аппаратуры на открытом воздухе и в любых помещениях).

Для пятой приемки ИС$K_П = 1$.

Используя значения данных коэффициентов в (2) вычисляется величина интенсивности отказов

$\lambda_э = 1{,}477 \times 10^{-3} ч^{-1}$.

В свою очередь, в соответствии с экспоненциальным законом надежности вероятность безотказной работы RFID-метки за время $t_э$ вычисляется по формуле:

$$P(t_э) = e^{-\lambda t_э} \quad (5)$$

Величину $t_э$ можно определить как время, отводимое на локализацию и ликвидацию последствий ЧС. В качестве примера можно рассмотреть ЧС, произошедшую в результате возникновения крупной производственной аварии на промышленном объекте.

Предполагается заблаговременное размещение сети RFID-меток на территории промышленного объекта на случай возникновения ЧС. Таким образом, даже при угрозе возникновения производственной аварии RFID-метки могут активироваться и использоваться для навигации объектов.

Согласно [9] при возникновении такой угрозы время на оповещение и сбор руководящего состава объекта, комитета ЧС предприятия, начальников структурных подразделений отводится 1-2 часа (в нерабочее время). Время, отводимое на ликвидацию угрозы возникновения ЧС, как правило, не превышает одних суток. В течение всего этого времени полагается возможной и целесообразной работа БВС (навигация которых осуществляется при помощи активированных RFID-меток) по наблюдению за обстановкой на территории данного промышленного объекта. Что касается времени, отводимого на ликвидацию последствий уже возникшей ЧС, то оно зависит от характера ЧС, а также от состава и количества привлекаемых сил и средств. Так, в [10] приводится планирование мероприятий по ликвидации ЧС, возникшей в результате разгерметизации пропиленовой колонны. Время, отводимое на проведение данных работ, в общей сложности составляет 55 часов и вероятность безотказной работы RFID-метки в соответствии с формулой (2) составляет 0,922.

Для определения трех координат объекта необходимо получение сигнала RFID-ридером данного объекта как минимумот четырех RFID-меток. В результате обмена сигналами между RFID-меткой и RFID-ридером на объекте, навигация которого осуществляется, определяется расстояние между ними (по времени прохождения сигнала). Программное обеспечение, осуществляющее навигацию объекта, строит геометрическое место точек, представляющее собой сферу, радиус которой равен расстоянию между RFID-меткой и RFID-ридером. Место пересечения двух таких сфер, построенных в результате обмена сигнала RFID-ридера с двумя RFID-метками, дает окружность, в одной из точек которой может находиться объект; трех сфер – дугу; четырех – конкретную точку, координаты которой соответствуют местоположению объекта (см. рисунок 2).

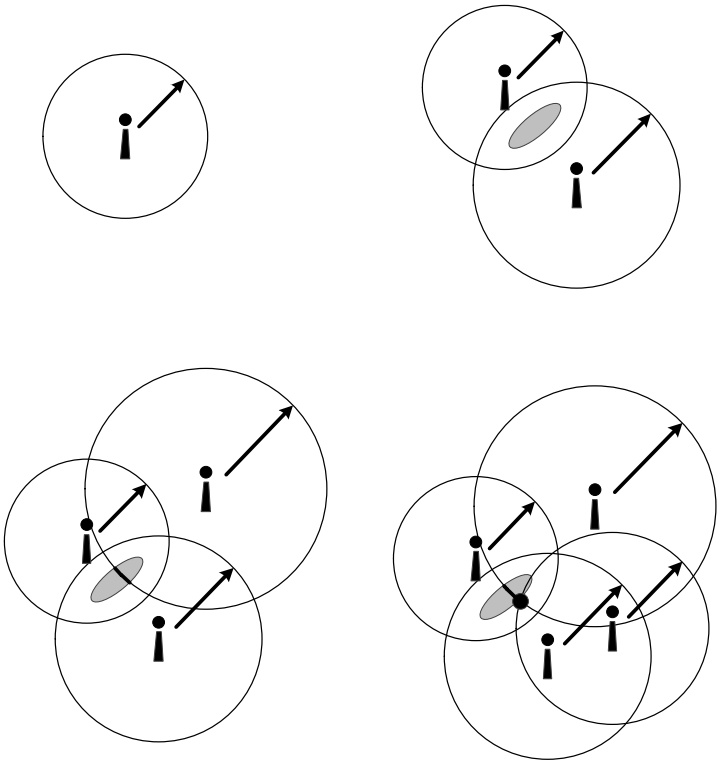


Рисунок 2 - Определение координат БВС с использованием группы RFID-меток

Вероятность безотказной работы такой группы RFID-меток будет определяться как произведение вероятностей безотказной работы каждой RFID-метки в группе:

$$P(t_з) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t_з) \quad (6)$$

где n – минимальное количество RFID-меток, необходимое для определения координат объекта (в данном случае, равное четырем).

Расчет вероятности безотказной работы по формуле (6) справедлив для группы элементов, отказ одного из которых ведет к отказу всей системы (как в случае с системой, элементы которой соединены последовательно). Действительно, при отказе одной из четырех RFID-меток становится невозможным определением трех координат объекта. Согласно формуле (6), вероятность безотказность работы такой группы RFID-меток составляет 0,723.

Размещение в той же области дополнительных четырехRFID-меток с таким расчетом, чтобы объект, находящийся в той же точке, получал сигнал уже от восьми RFID-меток, ведет к увеличению вероятности безотказной работы всей системы из восьми RFID-меток, поскольку здесь имеет место быть дублирование первой группы. При этом, как в случае с системой, элементы которой соединены параллельно, вероятность безотказной работы системы восьми RFID-меток можно вычислить по формуле:

$$P(t_з) = 1 - \prod_{i=1}^{m} \left(1 - P_i(t_з)\right) \quad (7)$$

где m – количество групп, состоящих из четырех RFID-меток.

В данном случае вероятность безотказной работы составляет 0,923.

При увеличении числа дополнительных RFID-меток вероятность безотказной работы всей системы растет. К тому же RFID-метки отличаются сравнительно невысокой стоимостью. Тем не менее, зависимость вероятности безотказной работы от количества групп RFID-меток носит нелинейный характер, что видно из графика на рисунке 3: с дальнейшим увеличением числа RFID-меток (N) прирост вероятности безотказной работы (P) всей системы снижается.

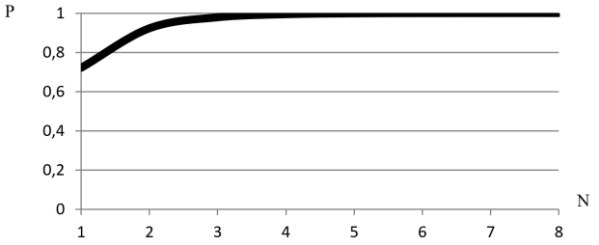


Рисунок 3 – Зависимость вероятности безотказной работы от количества используемых RFID-меток

При осуществлении навигации объектов в зоне ЧС с использованием RFID-меток необходим тщательный расчет их количества, важно найти «золотую середину» между требуемой величиной вероятности безотказной работы системы используемых RFID-меток и их числом. Здесь важно исходить из условий обстановки на местности, наличия и характера поражающих факторов конкретной ЧС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ проведения поисково-спасательных работ : пат. 2694528 Рос. Федерация. № 2018139491 ; заявл. 07.11.2018 ; опубл. 16.07.2019, Бюл. № 20. 31 с.

2. Шерстнев, В.В Особенности использования беспилотных воздушных судов при проведении поисково-спасательных работ/ В.В. Шерстнев, О.Н. Бодин «Труды международного симпозиума «Надежность и качество»». – 2019. – том 1. С. 183-185.

3. Семенец, В.О. Основные параметры систем управления беспилотными аппаратами / В. О. Семенец, М. П. Трухин // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 65–70. – DOI 10.21685/ 2307-4205-2018-3-9.

4. Яковенко, И.А. Навигация внутри помещений. обзор и сравнительный анализ технологий: GSM, Bluetooth, WI-FI, GPS, RFID, NFC / И.А. Яковенко // Молодежный научно-технический вестник. – 2015. – №6. – с.16.

5. Боровиков, С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств : учеб.-метод. пособие / С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян ; под ред. С.М. Боровикова. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с. : ил.

6. Боровиков, С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности : учеб. для студ. инж.-тех. спец. вузов / С.М. Боровиков. - Минск : Дизайн ПРО, 1998. – 336 с.

7. Сайт «Helpiks.org» - Условия эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры и приборов URL: https://helpiks.org/4-17709.html

8. Reliability Prediction Model for Electronic Equipment : The Chinese Military/CommrecialStandartGJB/z 299B. – Yuntong Sci.-тек. Co. Ltd. China 299B.

9. «Методические рекомендации по разработке плана действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера субъекта Российской Федерации» (утв. МЧС России 01.07.2013 N 2-4-87-9-14)

10. Р.Г. Ахтямов, А.Н. Елизарьев, И.В. Вдовина, Ю.М. Планида, Э.С. Хаертдинова Применение сетевых моделей при планировании аварийно-спасательных и других неотложных работ // Журнал» Научные и образовательные проблемы гражданской защиты». – 2012. - №2. - С.29 – 34.

УДК 629.78

Онласкан С.Б., Жакупова А.Е., Абдирашев О.К., Ануар Г.А., Ергалиев Д.С.

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Республика Казахстан

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ НАНОСПУТНИКОВ СЕМЕЙСТВА SAMSAT

В работе рассматриваются построения схем интегрированных систем ориентации и навигационных (ИСОН) для наноспутников, приведены различные варианты их построения.

Анализ существующих схем построения ИСОН показывает, что их основу традиционно составляют инерциальные измерительные устройства, коррекция которых осуществляется с помощью спутниковых навигационных систем. Такие интегрированные НС нашли широкое распространение в составе систем управления различных подвижных объектов. Сочетание инерциальных измерителей и спутниковой навигации является удачным для реализации достоинств составных частей и для исключения их недостатков.

Ключевые слова:

НАНОСПУТНИК, ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ, КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Введение

Развитие космических аппаратов (КА), в том числе КА нанокласса, а также необходимость решения вновь возникающих прикладных задач, связанных с необходимостью определения параметров движения объектов, выдвигает новый требования по точности и надежности получения информации о координатах, скорости, ориентации (углов и угловых скоростей) движущихся объектов. Развитие микромеханики и микроэлектроники позволяют использовать наноспутники для решения различного рода задач (мониторинг геофизических полей, монито-

ринг судов и т.п.), которые в свою очередь требуют повышенной точности, высокой частоты и надежности навигационных определений на всех этапах их использования.

Обеспечение заданных уровней точности и указанных качественных показателей надежности предъявляет особые требования к современным и перспективным системам навигации маневренных КА. К числу основных современных бортовых систем навигации прежде всего следует отнести инерциальные (ИНС) и спутниковые навигационные системы (СНС) [0].

Современные системы навигации, наведения и управления в настоящее время невозможно представить без использования спутниковых и инерциальных средств. Несмотря на значительный прогресс в их развитии, широкое распространение получают интегрированные навигационные системы, основанные на комплексном использовании инерциальных и спутниковых данных [0].

Комплексные навигационные системы реализуют принцип избыточности, когда один и тот же навигационный параметр определяется несколькими навигационными системами, основанными на различных физических принципах. ИНС автономны, не требуют информации о магнитном поле Земли, не излучают энергию, однако имеют тенденцию к накоплению погрешностей.

Основная часть

Анализ существующих схем построения ИСОН показывает, что их основу традиционно составляют инерциальные измерительные устройства, коррекция которых осуществляется с помощью спутниковых навигационных систем. Такие интегрированные НС нашли широкое распространение в составе систем управления различных подвижных объектов. Сочетание инерциальных измерителей и спутниковой навигации является удачным для реализации достоинств составных частей и для исключения их недостатков [0].

Широко известная разомкнутая схема комплексирования подразумевает использование полученных с помощью спутниковой навигационной системы и оптико-электронных измерительных устройств (звездный датчик, солнечный датчик и т.п.) параметров в качестве начальных условий для инерциальной системы [0]. Её неоспоримым достоинством является простота реализации. Однако такая схема построения ИСОН не всегда обеспечивает требуемую высокую точность определения параметров ориентации и навигации в условиях высокой динамики движения наноспутника, а также вследствие влияния нестационарных возмущающих воздействий.

Рисунок 1 – Слабосвязанная схема комплексирования

Следующей по сложности интеграции является слабосвязанная схема комплексирования, которая характеризуется применением оптимального фильтра Калмана [3]. Данная схема обладает высокой надежностью и обеспечивает высокую точность измерения. Однако эти достоинства проявляются только в условиях стационарности погрешностей измерительных устройств, но априорно неопределенный характер возмущающих факторов не позволяет рассматривать их как стационарные [3].

Рисунок 2 – Сильносвязанная схема комплексирования ИНС и приемника

В теории комплексной обработки навигационной информации известны также сильно связанные схемы комплексирования [3]. В сильно связанных (или жестко связанных) схемах роль инерциальной системы сводится лишь к измерению первичных параметров поступательного и вращательного движений, например, проекций кажущегося ускорения и абсолютной угловой скорости вращения объекта. К недостаткам жестко связанных систем можно отнести: необходимость разработки специальной навигационной аппаратуры потребителя, использование сложных соотношений для измерений, ухудшение надежности, т.к. отказ инерциальных измерителей приводит к отказу системы в целом [4].

Таким образом, основные отличия жестко связанной схемы от слабосвязанной заключаются в следующем:

использование выходной информации ИНС об ускорении в контуре слежения за кодом и доплеровским сдвигом несущей. Это позволяет сузить полосу пропускания контуров слежения и повысить быстродействие и точность настройки;

использование измерений псевдодальностей и псевдоскоростей (а не координат и скоростей) для оценивания погрешностей ИНС.

Все перечисленные схемы комплексирования СНС и ИНС (кроме первой), получаемые на выходе фильтра Калмана оценки инструментальных погрешностей ИНС (ошибки смещения нулей гироскопов и акселерометров, ошибки масштабных коэффициентов и т. д.) используют для коррекции инерциальных датчиков. Поэтому при перерывах поступления данных с приемника полученные ранее оценки ошибок ИНС и ее измерительных элементов позволяют улучшить точностные характеристики ИНС в автономном режиме [5].

В таблице 1 суммированы основные особенности перечисленных схем комплексных систем.

Сравнительные характеристики комплексных систем разной архитектуры Таблица 1

Тип системы	Основные качества
Раздельная	Избыточность, ограниченность ошибок оценок местоположения и скорости, наличие информации об ориентации и угловой скорости, высокая скорость выдачи информации, минимальные изменения в бортовой аппаратуре.
Слабосвязанная	Все перечисленные качества раздельных систем, плюс более быстрое восстановление слежение за кодом и фазой сигналов СНС, выставка и калибровка БИНС в полете, как следствие — повышенная точность в отсутствие СНС-сигнала.
Жестко связанная	Дальнейшее улучшение точности и калибровки, повышенная устойчивость слежения за СНС-сигналами при динамических маневрах, повышенная помехозащищенность.

Приведенные структуры интегрированных систем могут быть релизованы с использованием существующих спутниковых приемников, инерциальных систем и вычислителей. Вместе с тем, слабо и, в первую очередь, жестко связанная схемы для более полного использования открывающихся возможностей комплексирования требуют создания специализированных датчиков для инерциальныхи спутниковых систем, изготовленных на одной технологической и конструктивной базе [6].

Комплексные навигационные системы реализуют принцип избыточности, когда один и тот же навигационный параметр определяется несколькими навигационными системами, основанными на различных физических принципах. К числу основных навигационных систем различных подвижных объектов уже давно относится ИНС. Они автономны, не требует информации о магнитном поле Земли, не излучают энергию, однако имеют тенденцию к накоплению погрешностей. Объединение ИНС с навигационными системами, основанных на других физических принципах позволяет, позволяет устранить этот недостаток. Помимо ИНС подвижные объекты все чаще снабжаются СНС. Навигационные параметры, полученные с помощью СНС, не имеют тенденции к накоплению погрешностей как ИНС, однако в большой степени подвержены различным случайным помехам. Интеграция ИНС и СНС позволяет создать высокоточный надежный навигационный комплекс, сочетающий в себе преимущества ИНС и СНС [7,8].

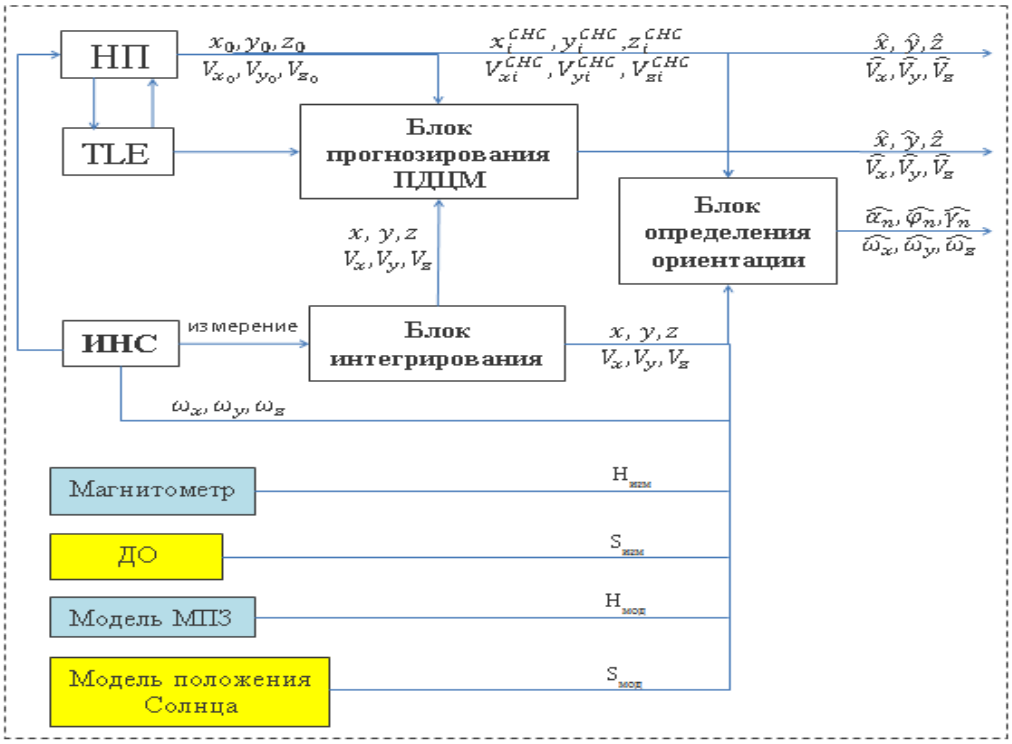


Рисунок 3 –Общая структурная схема системы навигации и ориентации

Под слабосвязанной схемой комплексирования рассматриваемого состава измерений здесь понимается схема, при которой задача определения навигации решается поэтапно, привлекая по мере необходимости тот или иной вид измерений (рисунок 4) [9,10]

Здесь обе системы работают независимо друг от друга, но появляется связующий блок, в котором так называемый интегральный фильтр Калмана, который получает информацию о координатах и скорости от НП и инерциальных датчиков (магнитометры, датчики угловых скоростей, датчики освещенности), формирует оценку вектора состояния, в результате чего производится коррекция данных, полученных от инерциальных датчиков [11,12].

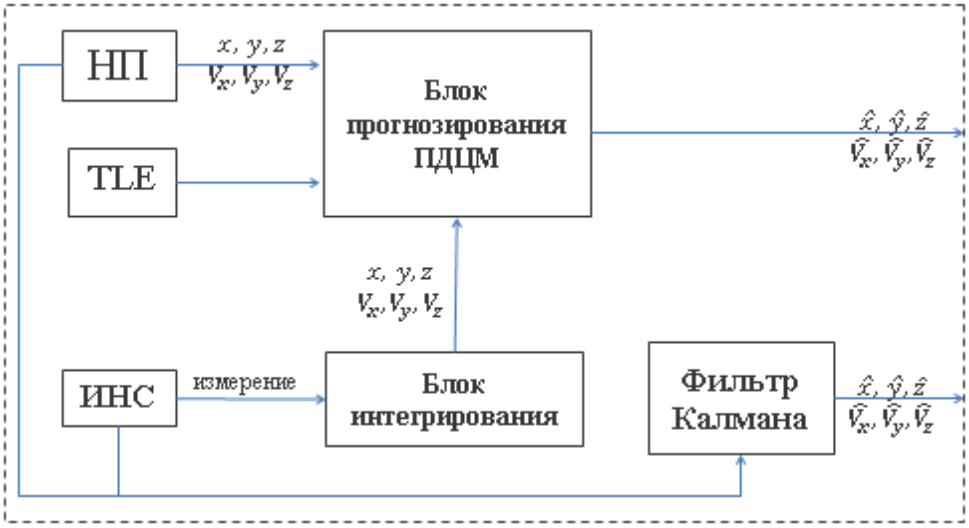


Рисунок 4 – Слабосвязанная схема решения задачи навигации

Показанная на схеме структура ИНС предусматривает возможность компенсации инструментальных ошибок измерительных элементов — гироскопов и акселерометров — по априорным данным (например, по паспортным данным системы или по запомненным значениям оценок этих ошибок при предыдущем включении). В результате в основной алгоритм ИНС передаются корректированные показания гироскопов и акселерометров [13,14].

Как видно, в слабо связанной системе навигационные параметры, вырабатываются независимо как в ИНС, так и в СНС, причем в состав приемника включен оцениватель (как правило, фильтр Калмана). Достоинством такой схемы является высокая надежность интегрированной системы, а недостатком — взаимная корреляция ошибок оценок первого фильтра (фильтра спутникового приемника) и их отличие от белых шумов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красильщиков, М.Н. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов [Текст]/М.Н. Красильщиков, Г.Г. Себрякова – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 556 с.

2. TLE [Электронный ресурс] – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/TLE (дата обращения: 15.03.2017).

3. Models for propagation of NORAD element sets [Электронный ресурс] – URL: http://www.celestrak.com/NORAD/documentation/spacetrk.pdf (датаобращения: 15.03.2017).

4. Бранец, В.Н. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела [Текст]/В.Н.Бранец,И.П. Шмыглевский. –М.: Наука, 1973.

5. Мантуров, А.И. Механика управления движением космических аппаратов: Учеб. пособие [Текст]/ Самар. гос. аэрокос. ун-т. Самара,2003. – 62 с.

6. Балк, М.Б. Элементы динамики космического полета [Текст]/ М.Б. Балк. – М.:«Наука», 1965. – 340 с.

7. Емельянцев, Г.И. Интегрированные инерциально-спутниковые системы ориентации и навигации [Текст] / Г.И. Емельянцев, А.П. Степанов / Под общей ред. акад. РАН В.Г. Пешехонова – СПб.:ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2016. – 394 с.

8. Аванесов, Г А. Звёздный координат БОКЗ-М и перспективы его развития [Текст] /Г.А.Аванесов, А.А. Форш, Р.В.Бессонов, Я.Л. Зиман, М.И. Куделин, Р.Г. Залялова // XIV Санк-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. –Спб.: ЦНИИ «Электроприбор», -2007. - С. 199-205.

9. Анучин, О.Н. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов [Текст]/О.Н.Анучин, Г.И.Емельянцев// (2-е изд., допол.)–Спб: ЦНИИ «Электроприбор», 2003. – 390 с.

10. Аншаков, Г.П. Методы и средства управления в высокоинформативном наблюдении Земли из космоса [Текст] / Г.П. Аншаков, В.П.Макаров, А.И. Мантуров, Я.А.Мостовой // XIV Санк-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. Спб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2007.- С.165-173.

11. Анцифиров, С.А. Возмущающий момент в поплавковом маятниковом акселерометре на вибрирующем основании при несимметричном истечении жидкости в торцы [Текст]/С.А. Анцифиров, Д.В. Кондратов, Л. И. Могилевич//Изв. РАН. Механика твердого тела. – 2006. – №3. – С. 16-29.

12. Распопов, В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем [Текст]/В.В. Матвеев, В.Я. Распопов. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор», 2009. – 290 с.

13. Фоминов, И. В. Обобщенная структура адаптивного информационно-измерительного комплекса подвижного объекта [Текст]/И.В. Фоминов // Известия вузов. Приборостроение. 2013. №7. Т. 56. С. 5-9.

Красильщиков, М. Н. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов [Текст]/М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 556 с. - ISBN 978-5-9221-1168-3.

14. Ергалиев Д.С., Тулегулов А.Д., Сундетбаева Э.С., Ергалиева Л.Д. Основные аспекты повышения надежности бортовой радиоэлектронной аппаратуры. Надежность и качество-2013: Международный симпозиум.- Пенза, 2013., том 1. - С.98-101.

15. А.О.Асылбекова, А.Е.Ашуров, Ергалиев Д.С. Исследование точности определения орбиты геостационарного спутника Зем-ли с двух пунктов наблюдения. Надежность и качество. Труды международного симпозиума. г.Пенза, РФ - 23 -31 мая 2016 г., №1, С. 129-131.

УДК 629.78.571

Абилхасымов Д.М., Фазылбекулы Е., Абдирашев О.К., Ертаева П.К., Ергалиев Д.С.
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Республика Казахстан

ПЕРЕЛЕТ МЕЖДУ КОМПЛАНАРНЫМИ ОРБИТАМИ С ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫМИ АКТИВНЫМИ УЧАСТКАМИ

Наноспутники активно используются для научных исследований и дистанционного мониторинга, зондирования Земли, отработки новейших технологий, образования, калибровки наземных и космических систем. В последнее время в околоземное пространство было выведено множество крошечных спутников, которые позволяют проводить простые и недорогие научные эксперименты в космосе. Однако главным минусом миниатюрных космических аппаратов была их полная неуправляемость. Теперь эта проблема решена при помощи двигателем с малой тягой, которые позволяют изменять траектории полетов маленьких спутников и менять маршруты их движения.

Разработана программа моделирования движения наноспутника. Определена минимальная и максимальная ширина активного участка. Рассмотрены перелёты при различной ширине активного участка.

Ключевые слова:
МЕЖОРБИТАЛЬНЫЙ ПЕРЕЛЁТ, ДВИГАТЕЛЬ МАЛОЙ ТЯГИ, ОПТИМАЛЬНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ТРАЕКТОРИИ, ОКОЛОКРУГОВАЯ ОРБИТА, ПАРАМЕТРЫ УПРАВЛЕНИЯ.

Введение

Наноспутники находятся на невысоких околоземных орбитах. Верхние ступени ракет-носителей обычно выводятся на околокруговую низкую орбиту, например, для орбитальной ступени РН Союз геометрия орбиты составляет 190×240 км (e=0,0038), а для РН Протон-М – 170×230 км (e=0,0046) [1]. При отделении наноспутников на таких орбитах время существования будет малым, однако для проведения кратковременных экспериментов этого бывает достаточно. Так как на таких орбитах влияние атмосферы на движение значительно [2]. Орбита Международной Космической станции поддерживается в пределах 335-400 км. Если наноспутники будут запущены на орбиту высотой менее 330 км или более 400 км, то это предотвратит опасность столкновения спутников с МКС [3,4].

За последние три года выведено на околоземную орбиту около 180 наноспутников. Большинство наноспутников используют круговые орбиты (71%) и 29% наноспутников используют слабоэллиптические орбиты (e < 0.06). В 2012 году выведено на орбиту около 22 наноспутников. Из них около десяти удачно запущены на высоте 310,400, 470-770 км. В 2013 году выведено на орбиту около 75 наноспутников. Запуск осуществлен РН Союз, Днепр, Минотавр и Атлас. Они были запущены на высоте 570, 700, 500, 650-775 км соответственно. В 2014 году выведено на орбиту около 85 наноспутников. Запуск осуществлен РН Антарес, Фалкон, Днепр и были запущены на высоте 410 км с МКС, 620 км и 400 км с МКС [5,6].

Основная часть

Маневром межорбитального перехода будем называть управляемое движение, в результате которого космический аппарат переходит с начальной орбиты на конечную. Орбиту, проходящую через точки начальной и конечной орбит, будем называть переходной орбитой. Переход является компланарным, если он осуществляется между орбитами, находящимися в одной плоскости, и переходная орбита лежит в этой плоскости [7,8].

Перелет состоит из двух этапов. На первом этапе несколько импульсы прикладывается в перигее, то есть сначала поднимается апогей и орбита вытягивается. На втором этапе несколько импульсы прикладывается в апогее, поднимаем перигей и орбита скругляется. Второй этап будет заключаться формирование окончательной орбиты.

Вектор тяги лежит в плоскости орбиты и ориентирован по трансверсали. Управлением является функция включения-выключения двигателя: $\delta \in \{1,0\}$. Знаки «1» и «0» соответственно означают, что двигатель включен и выключен. На участках где двигатель выключен будет падения высоты, за счет аэродинамических сил [9,10].

Управления заключается в том, что параметры управления определяется в угловой мере по истинной аномалии.

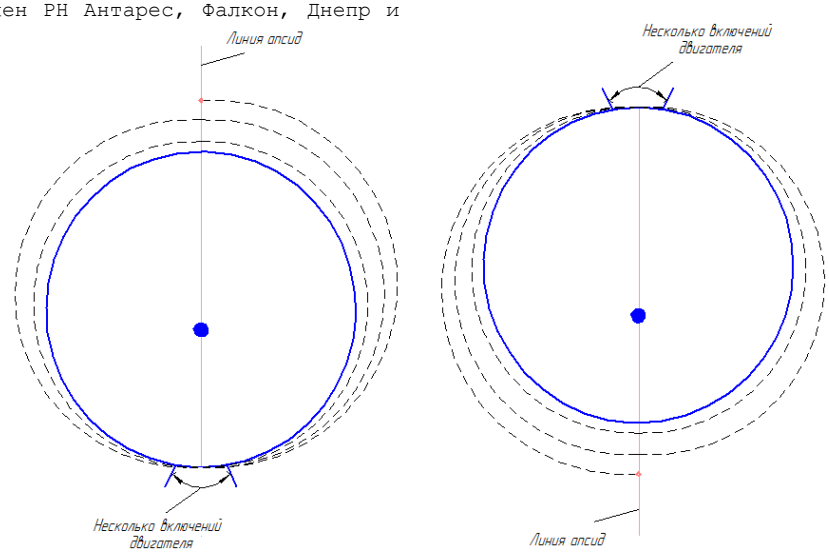


Рисунок 1 – Схема перелёта

Введём следующие допущения:

оси апсид начальной, переходных и конечной орбит совпадают с линиями узлов и лежат в плоскости экватора ($\omega_0 = \omega = 0$); тяга двигателя постоянна и направлена так, что её радиальная составляющая равна нулю; управление симметрично относительно оси апсид; двигатель может многократно включаться и выключаться.

Перелёт с одним участком в перигее или в апогее описывается следующим аналитическим выражением:

$$A \cdot (sinx \pm e \cdot k_1)^{\frac{x}{k_1}} = const, \qquad (1)$$

где $k_1 = \frac{3}{4}x + \frac{sin2x}{8}$.

где верхний знак соответствует положению центра активного участка в перигее, а нижний знак – в апогее. Согласно аналитическим формулам можно построить две группы изолиний изменения эксцентриситета от большой полуоси. Построим изолинии переходных орбит для разной ширины разгонных участков, задавая угол x разгонного участка, размер большой полуоси A и определяя эксцентриситет e согласно выражения (1). Результаты расчётов параметров переходных орбит перелётов приведены на рисунке 2.

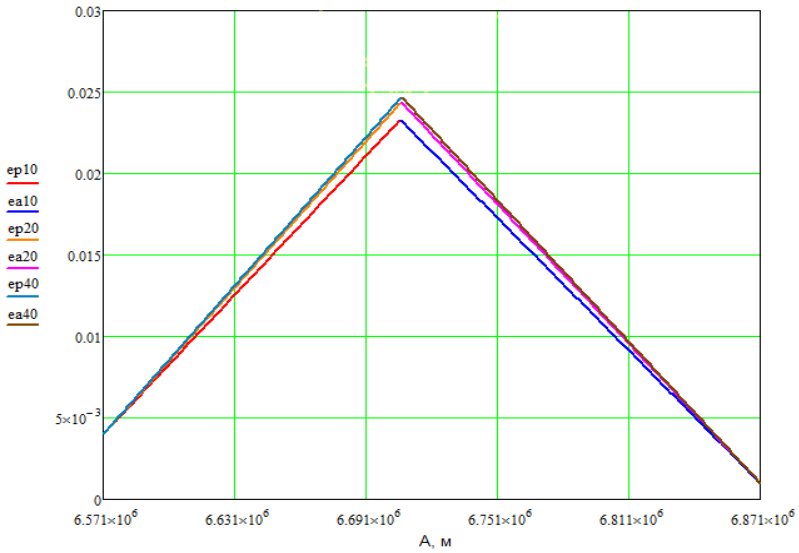


Рисунок 2 – Изменение эксцентриситета e от большой полуоси A переходной орбиты при различных углах разгонного участка

На рисунке 2 представлены две группы изолиний изменения эксцентриситета от большой полуоси на 10, 20, 40 градусов половина ширина активного участка: первая группа начинается из точки, координаты которой соответствуют параметрам начальной орбиты; вторая – из точки с параметрами целевой орбиты. Начальная орбита составляет 6571 км, эксцентриситет 0,004. Конечная орбита составляет 6871 км, эксцентриситет 0,001. Максимальный эксцентриситет достигает 0,023-0,024.

Для определения затрат топлива на межорбитальные переходы используется импульсная аппроксимация активных участков. При оценке массы топлива, потребного на маневр, к величине импульсной скорости V следует прибавлять гравитационные потери скорости на управление (формирование траектории активного участка). Полученная величина скорости по известной формуле Циолковского пересчитывается в массу топлива для реализации маневра [11,12]:

$$m_T = m_0[1 - \exp(-\frac{V_X}{P_{уд}})] \ , \qquad (2)$$

где m_0 – начальная масса космического аппарата; $P_{уд}$ – удельный импульс тяги; V_X – характеристическая скорость маневра.

Продолжительность работы двигателей приближенно оценивается по соотношению:

$$\Delta t = \frac{m_T}{P} \cdot P_{уд} \ , \qquad (3)$$

где P – тяга двигателя космического аппарата [13].

ЛИТЕРАТУРА

1. Российские космические системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.spacecorp.ru/directions/nano/ (дата обращения 29.01.2015).
2. Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-problemy-bezopasnogo-poleta-nanosputnikov-pri-ih-vyvedenii-na-nizkie-orbity (дата обращения 29.01.2015).
3. Cubesat Project [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cubesat.ru/ru/ishchem-partnerov-dlya-uchastiya-v-evropeiskoi-programme-issledovaniya-atmosfery-zemli (дата обращения 29.01.2015).
4. Спутниковое телевидение GOMEL-SAT [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://gomel-sat.net/3290-razrabotka-miniatyurnyx-nanosputnikov-mozhet.html (дата обращения 30.01.2015).
5. Cubesat Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sites.google.com/a/slu.edu/swartwout/home/cubesat-database. (дата обращения 06.02.2015).
6. GUNTERS SPACE PAGE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/flock-1.htm. (дата обращения 06.02.2015).
7. Популярная механика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.popmech.ru/technologies/13811-kosmos-na-lyubitelya-orbita/. (дата обращения 07.02.2015).
8. Newsland [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://newsland.com/news/detail/id/1350727/. (дата обращения 07.02.2015).
9. NANO NEWS NET [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nanonewsnet.ru/news/2012/kroshechnye-dvigateli-razmerom-s-monetu-pozvolyat-nanosputnikam-probyt-na-orbite-gorazdo-d (дата обращения 30.01.2015).
10. http://www.dailytechinfo.org/space/3485-nanosputniki-s-novym-ionnym-dvigatelem-smogut-dobratsya-do-luny-na-kaplyah-topliva.html.
10. DailyTechInfo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.dailytechinfo.org/space/3485-nanosputniki-s-novym-ionnym-dvigatelem-smogut-dobratsya-do-luny-na-kaplyah-topliva.html. (дата обращения 08.02.2015).
11. CubeSat. (2010). Mission Statement. Retrieved September 28, 2010, from www.cubesat.org: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cubesat.org/index.php/about-us/mission-statement. (дата обращения 09.02.2015).
12. R.J. Cassady, W. A. Hoskins, A Micro Pulsed Plasma Thruster (PPT) for the Dawgstar Spacecraft, IEEE 2000.
13. Википедия Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Малые_спутники.
14. Әбдірашев Ө.К., Ергалиев Д.С., Ашуров А.Е. Параметрический анализ алгоритма демпфирования угловых скоростей при движении наноспутника. Надежность и качество. Труды международного симпозиума. г.Пенза, РФ – 22 -31 мая 2017 г., №1, С. 180-182.
15. Moldamurat K., Yergaliyev D., Moldamurat A., Tulkibay S. RADAR REMOTE-SENSING INSTRUMENTS OF THE EARTH. Надежность и качество. Труды международного симпозиума. г.Пенза, РФ – 22 -31 мая 2017 г., №2, С. 30-32

УДК 621.391

Костюков А.С. Башкиров А.В., Астахов Н.В., Демихова А.С., Никитин Л.Н.
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

В настоящее время многие крупные компании сталкиваются с проблемой недостатка квалифицированных специалистов в той или иной области. Для решения данной проблемы наиболее полно подходит применение экспертных систем, это обусловлено многими факторами. Так, например, использование данных систем позволяет оптимизировать рабочий процесс, уменьшить количество работников, которые трудятся поставленной задачей и тем самым сократить количество затрачиваемых ресурсов. В данной статье описываются способы применения помехоустойчивых алгоритмов в экспертных системах. Приводится краткое описание самих экспертных систем и их классификация, рассматриваются различные помехоустойчивые коды, их характеристики, а также в каких областях они применяются в настоящий момент. В конце статьи представлена сравнительная таблица, благодаря которой были сделаны выводы о наиболее подходящих, помехоустойчивых алгоритмов, которые могут быть применены в экспертных системах.

Ключевые слова:
ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ, ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ КОДЫ, КОДОВАЯ СКОРОСТЬ, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ

Введение. В настоящее время экспертные системы применяются во многих областях производства и науки. Они нашли своё применение, как в технических специальностях, так и в экономических, и даже в гуманитарных науках. Экспертные системы – это специально разработанные программные продукты, обладающие огромной базой знаний в определённых аспектах и помогающее конечному пользователю в консультации и решении различных проблемных ситуаций в рассматриваемой предметной области.

Следует отметить, что международной общепринятой классификации экспертных систем не существует, однако наиболее часто экспертные системы различают по назначению, предметной области, методам представления знаний, динамичности и сложности, на рисунке 1 представлена наиболее актуальная классификация экспертных систем [1].

Рисунок 1 - Классификация экспертных систем

Примеры экспертных систем. В качестве примеров экспертных систем можно упомянуть такие программные продукты как: Nereid; PMIDSS; ArBoR; Deductor. Все выше перечисленные системы базируются на так называемых базах знаний и позволяют решать ряд сложных задач в специфичных областях. Так, например программный продукт Nereid используется для оптимизации работы с валютными фондами, а программа Deductor позволяет создавать законченные прикладные решения в области анализа данных [2], тем самым заменяя собой статистические средства расчёта.

Так же к экспертным системам можно отнести ряд некоторых чат ботов, например чат боты службы поддержки таких крупных компаний как МТС, Билайн, ВТБ, Сбербанк. Данные экспертные системы позволяют индефицировать неполадки у пользователей и помогают их устранить без участия инженеров-операторов, что значительно позволяет экономить время и рабочие ресурсы. Такие экспертные системы используют различные способы передачи информации как сетевой, так и мобильной связи. Поэтому с этим остро встаёт вопрос о защите передаваемой информации от различных помех и наводок. Для обеспечения безопасности передачи данных в настоящее время используют помехоустойчивые коды, рассмотрим некоторые из них.

Обзор помехоустойчивых кодов. Код Рида-Соломона это блочный не двоичный циклический код, символы которого представляют собой m-битовые последовательности. Данный код предназначены для исправления одиночных и групповых ошибок, кроме исправления ошибок код Рида-Соломона может также восстанавливать стёртые или же не разборчивые символы. Всё это позволило коду Рида-Соломона занять обширную нишу в телекомуционных системах, например, данные коды используются в таких стандартах связи как IEEE802.16, Internet, CCSDS и т.п.

Свёрточные коды с применением декодера Витерби, являются оптимальными и достаточно легко реализуемыми для коротких сверточных кодов. Из недостатков можно выделить тот факт, что данный способ применяется только для декодирования коротких кодов, т.к. с ростом длины кода возрастает и его сложность реализации. Данный вид кодирования применяется в беспроводных сетях IEEE802.11, IEEE802.16 дальней космической связи CCSDS, спутниковой связи TIA-1008 и т.п. Подробнее о декодере Витерби можно узнать из [4].

Каскадные коды, в основе которых лежит идея совместного использования нескольких составляющих кодов, например код Рида-Соломона, код Хэмминга, код с проверкой на чётность и т.п. Данные коды широко применяются в таких стандартах связи как CCSDS, DVB-H/T/S, IEEE802.16 и т.п. Более подробно данный способ кодирования информации рассматривается в [4].

Много пороговый декодер самоортогональных кодов (МПДСОК), с помощью данного декодера, возможно, декодировать очень длинные коды с линейной от длины кода сложностью реализации. При этом МПДСОК способен вплотную приближаться к решению оптимального декодера в достаточно широком диапазоне кодовых скоростей и уровней шума в канале передачи данных. Более подробно МПДСОК рассматриваются в [4], данные алгоритмы используются в таких стандартах связи как CCSDS, IEEE802.16 и т.п.

Турбо коды, образующиеся путём каскадирования двух или более составляющих кодов, данные коды могут получаться как при последовательном, так и при параллельном соединении кодов, разделяемых перемежителем.

Так данные коды подразделяются на два подтипа, к первому относится свёрточные турбо коды (Turbo Convolutional Code – TCC), данный вид алгоритмов образуется путём параллельного каскадирования двух кодов через перемежитель. Применяются такие алгоритмы в основном беспроводной связи, в таких стандартах как: CCSDS, TIA-1008, CDMA2000, UMTS.

Ко второму подтипу относятся так называемые турбо коды произведения (Turbo Product Code – TPC), они образуются путём последовательного каскадирования алгоритмов и применяются в таких стандартах связи как: INTELSAT, IEEE 802.16.

Низкоплотностные коды (LDPC коды), также данные коды называют коды с малой плотностью проверок на чётность. LDPC коды представляют собой линейные блоковые коды, задаваемые с помощью проверочной матрицы H, характеризуемой относительно малым числом единиц в строках и в столбцах. Проверочной матрице кода ставиться в соответствие граф Тоннера в котором для представления столбцов проверочной матриц используется определённым образом связанные между собой битовые и проверочные узлы. Всё это позволяет практически в плотную приблизиться к пропускной способности канала при относительно не большой сложности реализации. Данные коды применяются в таких стандартах связи как DVB-S2, 802.11n, 802.16e. Подробно LDPC коды рассматриваются в работах [3], [4].

Наиболее точные технические характеристики перечисленных выше помехоустойчивых кодов представлены в таблице.

Характеристики помехоустойчивых кодов Таблица

Название алгоритма	Тактовая частота МГц	Число итераций	Длина блока бит	Кодовая скорость	E_b/N_0 дБ
Код Рида-Соломона	160	5	255	0,7	6,3
	160	10	255	0,48	6,8
	160	5	255	0,9	7,3
	160	10	255	0,35	7,5
Декодер Витерби СК	220	14	7	1/2	4,5
	200	10	7	1/2	4
	200	5	7	1/2	3
	150	10	7	1/3	3,5
	220	5	11	1/2	2
	200	10	15	1/2	2
Каскадный код	160	12	16000	1/2	2,5
	150	12	16000	0,87	2,9
	160	12	20000	0,4	2,9
	150	12	20000	0,35	2,1
МПДСОК	190	40	94100	1/2	2
	200	40	40000	0,85	1,5
	220	60	94100	1/2	1,6
	200	220	94100	1/2	0,6
	200	192	94100	1/2	1,2
Турбо код ТСС	180	10	3060	1/2	1,5
	180	25	16000	0,87	4,7
	250	10	848	1/2	2,5
	220	25	3060	1/2	1,3
	200	30	1524	1/2	1,5
	250	15	756	1/2	2
	200	15	380	1/2	2.3
Турбо код ТРС	200	10	4096	1/2	2
	220	10	16000	0,88	1
	200	10	16000	1/2	0,6
	200	10	10000	1/2	1,7
	200	10	1024	0,43	2,4
	220	10	1024	0,66	3,4
	200	10	4096	0,64	2,6
	200	10	4096	0,79	3,4
LDPC код	92	10	1000000	1/2	0,1
	100	10	64800	1/2	0,8
	100	20	16000	0,88	3,6
	100	20	2304	1/2	2
	90	10	64800	1/2	1,5
	100	10	700000	1/2	0,6
	100	20	10000	1/2	1,2

Наиболее важными критериями для представленных экспертных систем являются высокие кодовая скорость и пропускная способность, это связанно с тем, что рассматриваемые системы работают с пользователями в реальном времени, через сеть интернет или же мобильную связь, поэтому им

необходимо предоставить точный и быстрый ответ на полученный запрос.

Проанализировав таблицу можно прийти к выводу, что наилучшими помехоустойчивыми кодами для экспертных систем, отвечающими всем выше перечисленным аспектам, являются турбо коды TPC, коды LDPC и МПДСОК, данные коды обладают наилучшими характеристиками пропускной способности и кодовой скорости. Так же данные коды очень хорошо изучены и используются во многих стандартах связи, например: IEEE 802.4, IEEE 802.11, IEEE 802.16, TIA-1008 и т.п. Всё это позволяет наиболее эффективно использовать перечисленные помехоустойчивые алгоритмы в программах экспертных систем.

Заключение. В данной статье было рассмотрено понятие экспертных систем, приведены их основные виды и представлена классификация. Были рассмотрены наиболее часто используемые помехоустойчивые коды, применяемые в экспертных системах. Произведен их сравнительный анализ по наиболее важным характеристикам с помощью таблицы, в конце которой был сделан вывод о наиболее подходящих помехоустойчивых алгоритмах для применения в экспертных системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никулин А.Н. Экспертные системы: учебное пособие / А.Н. Никулин. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 78 с.

2. Муромцев Д.И. Введение в технологию экспертных систем: учебное пособие / Д.И. Муромцев. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2005. – 93 с.

3. Костюков А.С. Помехоустойчевое кодирование в современных форматах связи / А.С. Костюков, А.В. Башкиров, Л.Н. Никитин, И.С. Бобылкин, О.Ю. Макаров // Вестник ВГТУ, том 15, № 2. – Воронеж, 2019. – С. 132 – 137.

4. Королев А.И. Коды и устройства помехоустойчивого кодирования информации / А.И. Королев. – Минск: 2002. – 286 с.

5. Астахов Н.В. Верификация LDPC-кодов / Н.В. Астахов, А.В. Башкиров, А.С. Костюков, М.В. Хорошайлова, О.Н. Чирков // Вестник ВГТУ, том 13, № 1. – Воронеж, 2017. – С. 74 – 77.

6. Зубарев Ю.Б. Помехоустойчивое кодирование в цифровых системах передачи данных / Ю.Б. Зубарев, Г.В. Овечкин // Электросвязь, № 12. – М., 2008. – С. 58 – 61.

УДК 519.711

Романенко Ю.А., Свиридов В.В., Повшенко Г.Т.

ФГКВОУ ВО «Военная академия ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации, Серпухов, Россия

ФОРМАЛИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ ВЫРАБОТКИ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ МЕХАНИЗМА АКТИВНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

В статье рассматривается механизмы управления деятельностью робототехнической системы - как активной системой. Теоретическим решением поставленной задачи является учет способностей робототехнических комплексов, как активных элементов рассматриваемой системы, к целенаправленному поведению, моделируемому возможностью самостоятельного выбора ими стратегий, в соответствии с собственными предпочтениями и интересами, отражаемыми функциями выигрыша, которые они стремятся максимизировать для выработки рационального решения на групповое управление, с учетом использования механизма активной экспертизы результатов деятельности отдельных робототехнических комплексов.

Ключевые слова:

РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ, ГРУППОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ, СОБСТВЕННЫЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ, РАЦИОНАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ

Характерной чертой робототехнических систем, которые относятся к динамически активным системам, является адаптивность, проявляющаяся, в первую очередь, в возможностях элементов робототехнической системы (далее – РТС) накапливать информацию и корректировать свое поведение с учетом повышения информативности за счет наблюдаемой истории их взаимодействия между собой и с окружающей средой.

Существует классификация, в соответствии с которой выделяется внешняя (относительно параметров окружающей среды) и внутренняя (относительно параметров, характеризующих элементы РТС – робототехнические комплексы) неопределенность, понимаемая как неполная информативность робототехнических комплексов о существенных (для процессов принятия ими решений) параметрах. В зависимости от той информации, которой обладает субъект, можно выделять интервальную, вероятностную и нечеткую неопределенность. В соответствии с принципом детерминизма, принятие решения осуществляется в условиях полной информативности, поэтому окончательный критерий, которым руководствуется субъект, не должен содержать неопределенных параметров, причем устранение неопределенности должно производиться с учетом всей имеющейся на рассматриваемый момент информации [1].

Опыт исследования теоретико-игровых моделей механизмов управления активных систем с неопределенностью свидетельствует, что эффективность управления не возрастает с ростом неопределенности и, соответственно, не убывает с ее уменьшением (с ростом информативности управляющего устройства).

Рассмотрим задачу управления робототехнической системой. Пусть состояние системы описывается переменной $y \in A$, принадлежащей допустимому множеству A. Состояние системы в некоторый момент времени зависит от управляющих воздействий $u \in U: y = F(u)$. Предположим, что на множестве UxA задан функционал $\Phi(u,y)$, определяющий эффективность функционирования системы. Эффективностью управления системой будет являться величина $K(u) = \Phi\big(u, F(y)\big)$. Тогда задача управляющего органа РТС заключается в выборе такого допустимого управления, которое максимизировало бы значение его эффективности при условии, что известна реакция системы $F(u)$ на управляющие воздействия: $K(u) \to \max\limits_{u \in U}$.

Рассматриваемая робототехническая система является активной системой, в состав которой входят: динамическая экспертная система (далее – ДЭС) – как управляющий орган в выборе рационального решения, а также активные элементы - робототехнические комплексы (далее – РТК), обладающие свойством активности, в том числе свободой выбора индивидуального состояния. Помимо возможности выбора своего состояния, элементы РТС обладают собственными интересами и предпочтениями, то есть осуществляют выбор состояния целенаправленно (в противном случае их поведение можно было бы рассматривать как пассивное). Соответственно конкретизируется и модель системы $F(\cdot)$, которая должна учитывать проявления активности управляемых РТК. Проявления эти описываются следующим образом - считается, что управляемые комплексы стремятся к выбору таких своих состояний, которые являются наилучшими с точки зрения их предпочтений при заданных управляющих воздействиях, а управляющие воздействия, в свою очередь, зависят от состояний управляемых субъектов, т.е. РТК. Одним из важнейших проявлений активности также является способность управляе-

мых РТК «предсказывать» (в рамках имеющейся информации) поведение динамической экспертной системы, т.е. её реакцию на состояние системы и т.д.

Если в ДЭС имеется модель реальной активной системы, которая адекватно описывает ее поведение, то задача управления РТС (задача синтеза рационального управляющего воздействия) сводится к сформулированной выше – выбрать рациональное управление $u^* = \sup max\, \tilde{u}_{u\in U}$, то есть допустимое управление, максимизирующее эффективность.

Структура робототехнической системы составляет совокупность информационных, управляющих и других связей между участниками РТС, включая отношения подчиненности и разделение прав принятия решений. Например, в большинстве моделей теории активных систем исследовались двухуровневые системы веерного типа, состоящие из одного управляющего органа - центра на верхнем уровне иерархии и одного или нескольких подчиненных ему управляемых субъектов - активных элементов на нижнем уровне [2].

Состав, структура, целевые функции, допустимые множества, число периодов функционирования, порядок функционирования и информированность РТК определяют механизм функционирования (управления) РТС в широком смысле - совокупность законов, правил и процедур взаимодействия ДЭС и РТК системы. В узком смысле механизм управления представляет собой совокупность правил принятия решений комплексами РТС при заданных ее составе, структуре и т.д. (например, правила принятия решения ДЭС - зависимость $\tilde{u}(y)$, ставящая соответствие состояниям комплекса - конкретное значение управляющего воздействия).

По сути дела, решая задачу синтеза механизма управления, решается задача синтеза рационального состава РТС, её структуры и т.д., т.е. задачи синтеза механизма управления в широком смысле.

Рассмотрим базовую модель РТС, состоящей из ДЭС и n активных РТК, функционирующих в условиях полной информированности обо всех существенных внешних и внутренних по отношению к системе параметрах. Структура РТС приведена на рисунке 1.

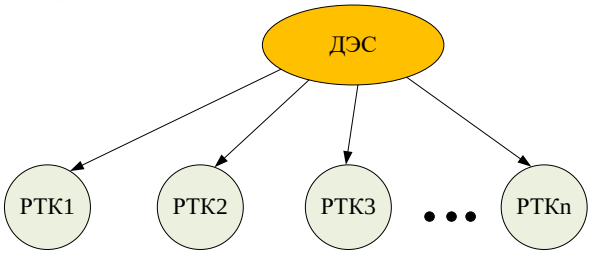


Рисунок 1 - Двухуровневая РТС веерного типа

Рассматриваемая модель является с одной стороны простейшей как с точки зрения структуры, описания, так и с точки зрения ее исследования, так как в ее рамках не учитываются многие факторы (динамика, неопределенность и т.д., которые учитываются в расширениях базовой модели), а с другой стороны на ее примере можно проследить многие закономерности управления РТС с тем, чтобы использовать их при переходе к более сложным моделям.

Теоретико-игровая формулировка задачи управления заключается в следующем. Пусть $y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n) \in A = \prod_{i=1}^{n} A_i$ - вектор действий РТК, компоненты которых они могут выбирать независимо (гипотеза независимого поведения). Если данная гипотеза не выполнена, т.е. существуют общие глобальные ограничения на выбираемые комплексами состояния, то сначала решают задачу управления в рамках данной гипотезы, а затем исследуют реализуемость состояния с точки зрения глобальных ограничений.

Так, например, для согласованных механизмов управления (обеспечивающих совпадение состояний РТК с плановыми значениями - планом называется желательное с точки зрения ДЭС состояние РТК) достаточно чтобы глобальным ограничениям удовлетворяли только планы. Альтернативой (часто используемой в теории игр с непротивоположными интересами [3, 4]) является наложение на комплексы бесконечных штрафов в случае нарушения глобальных ограничений.

Предположим, что целевая функция i-го РТК $f_i(y,u)$, отражает его предпочтение на множестве AxU. Определим $P(u)$ – множество решений РТК как множество равновесных при заданном управлении $u \in U$ стратегий РТК. В системе с одним комплексом $P(u)$ является множеством точек максимума целевой функции РТК, в многоэлементных системах - множество равновесий (в максиминнных стратегиях, или доминантных стратегиях, или равновесий Нэша, Байеса и т.д. - в зависимости от конкретной задачи). Множество решений отражает предположения ДЭС о поведении управляемых комплексов при заданном управлении. Далее, ДЭС, интересы которой идентифицируются с интересами РТК в целом должна конкретизировать свои предположения о стратегиях, выбираемых комплексами из множества решений. Наиболее часто применяются два подхода - метод максимального гарантированного результата, при использовании которого ДЭС рассчитывает на наихудший для неё выбор РТК, и гипотеза благожелательности, в рамках которой РТК выбирают из множества решений наиболее предпочтительные с точки зрения ДЭС действия. Далее будем считать выполненной гипотезу благожелательности. При этом задача управления РТК заключается в поиске допустимого управления, максимизирующего целевую функцию ДЭС:

$$u^* \in \sup_{u\in U} \max_{y\in P(u)} \Phi(u,y),$$

т.е. управления, имеющего верхнюю грань максимальных значений эффективности $K(u) = \max_{y\in P(u)} \Phi(u,y)$ (или гарантированную эффективность $K(u) = \min_{y\in P(u)} \Phi(u,y)$).

Приведенная теоретико-игровая формулировка задачи управления РТС, в которой ДЭС является метаигроком, обладающим правилом первого хода и имеющим возможность назначать свою стратегию, которая зависит от стратегий РТК: $u = \tilde{u}(y)$. Зависимость $\tilde{u}(\cdot)$ называется механизмом управления.

Для выработки эффективных управляющих воздействий, начиная с этапа целеполагания и заканчивая этапом оперативного управления, динамической экспертной системе необходимо обладать достаточной информацией о поведении управляемых робототехнических комплексов, в частности – относительно результатов их деятельности. В сложных (многоэлементных, многоуровневых системах, деятельность которых описывается многими критериями) системах в силу ограниченности возможностей ДЭС по переработке информации или в силу отсутствия детальной информации целесообразно использование механизмов комплексного оценивания, которые позволяют осуществлять свертку показателей, то есть агрегировать информацию о результатах деятельности отдельных робототехнических комплексов.

Под механизмом активной экспертизы в двухуровневой активной системе понимается следующая модель. Имеются n экспертов, каждый из которых имеет собственные представления $r_i \in [d;D] \subseteq \Re^l$ (точки пика функций предпочтения РТК) об оцениваемой скалярной величине и сообщает ДЭС информацию $s_i \in [d;D]$ о своих представлениях. Итоговое мнение $x \in [d;D]$ определяется в соответствии с процедурой планирования $\pi(s)$, то есть $x = \pi(s)$. Относительно процедуры планирования предполагают, что она непрерывна, строго монотонно возрастает по всем переменным и удовлетворяет условию единогласия: $\forall t \in [d;D] \qquad \pi(t,t,\dots,t) = t$. Без потери общности можно положить $d = 0, D = I$. Если предположить, что каждый из экспертов заинтересован в том, чтобы результат экспертизы - коллективное решение - был максимально близок к его истинному мнению, то в общем случае он может сообщать не-

достоверную информацию, искренне стремясь повлиять на результат в требуемую с его точки зрения сторону. Следовательно, возникает проблема манипулируемости механизма экспертизы.

В работах [7] доказано, что для любого механизма экспертизы, удовлетворяющего введенным выше предположениям, существует эквивалентный прямой (неманипулируемый) механизм, причем итоговое мнение в равновесии определяется совокупностью истинных мнений экспертов $\{r_i\}$, сообщение которых является доминантной стратегией, и числами $w(\pi) = \{w_i(\pi)\}$ при $i = 0, n$, которое вычисляются следующим образом: если собственные представления всех экспертов различны и упорядочены в порядке возрастания, то $w_k(\pi) = \pi\left(\underbrace{0,0,\dots,0}, \underbrace{1,1,\dots,1}\right), \quad k = \overline{0,n}$.

При этом равновесное итоговое мнение (коллективное решение) x^* ищется следующим образом: $x^*\left(r, w(\pi)\right) = \max\limits_{k=1,n} \min\left(w_{k-1}, r_k\right)$.

Подкласс механизмов экспертизы составляют механизмы согласия [8, 9]. Основная идея, используемая в механизмах согласия, заключается в том, чтобы эксперты сообщали не просто оценки некоторых величин, а соотносили важность оцениваемого показателя с некоторым общим для всех - так называемым "базовым" - показателем. В [8] доказана возможность выделения одного базового показателя из трех, следовательно при организации экспертизы с использованием механизмов согласия возможно разбиение экспертов по тройкам, обеспечивающее неманипулируемость механизма в предположении, что каждый эксперт в той или иной степени заинтересован в определенных итоговых значениях всех показателей.

Возможность обеспечения достоверности сообщаемой экспертами информации появляется также при использовании многоканальных механизмов экспертизы. При использовании нескольких параллельных каналов выработки управляющих воздействий многоканальная структура системы в ряде случаев позволяет снизить имеющуюся неопределенность. В частности, при использовании модели управляемой системы, ДЭС имеет возможность оценить какова была бы эффективность управления при реальном использовании предложений каждого из экспертов. Использование системы стимулирования экспертов, зависящей от этой оценки и реальной эффективности управления, позволяет добиться неманипулируемости механизма. Та же идея используется и в автономных механизмах экспертизы, в которых эксперты самостоятельно (не сообщая каждый ДЭС своих мнений) приходят к согласию относительно коллективного решения и сообщают его ДЭС. Использование стимулирования, пропорционального эффективности этого коллективного решения также дает возможность обеспечить неманипулируемость автономных механизмов экспертизы [9, 10].

Два важных частных случая общей постановки составляют задачи стимулирования (комплексное целенаправленное внешнее воздействие на деятельность РТК) и задачи планирования.

В задаче стимулирования ДЭС - является выбор механизма стимулирования (набора функций стимулирования) $\sigma(y) = \{\sigma_i(y)\}$, ставящих в соответствие действиям РТК величины вознаграждений, получаемых от ДЭС, то есть $u = \sigma(y)$. Задачей синтеза оптимальной функции стимулирования называется задача поиска допустимой системы стимулирования, имеющей максимальную эффективность. При их изучении основной акцент делается на исследовании влияния параметров РТС и ограничений механизма стимулирования на множество решений, которое в задачах стимулирования называется множеством реализуемых действий.

Задачи планирования, активно используется в задачах адаптивного планирования [9, 10], когда на втором шаге ее решения при известных множествах реализуемых действий РТК решается задача оптимального согласованного планирования, то есть задача выбора конкретного действия РТК, которое ДЭС наиболее выгодно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романенко Ю.А., Свиридов В.В. Методический подход к выбору средств охраны критически важного объекта / Журнал: Надежность и качество сложных систем, Издательство: Пензенский государственный университет (Пенза). ISSN: 2307-4205. С.87-90, 2019.

2. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: Синтег, 1999. – 128 с.

3. Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976. - 327 с.

4. Кононенко А.Ф., Халезов А.Д., Чумаков В.В. Принятие решений в условиях неопределенности. М.: ВЦАНСССР, 1991. – 211 с.

5. Бурков В.Н., Кондратьев В.В., Цыганов В.В., Черкашин А.М. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. М.: Наука, 1984.

6. Цыганов В.В. Адаптивные механизмы в отраслевом управлении. М.: Наука, 1991.

7. Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К., Кондратьев В.В., Нанева Т.Б., Щепкин А.В. Большие системы: моделирование организационных механизмов. М. Наука, 1989.

8. Бурков В.Н., Грацианский Е.В., Еналеев А.К., Умрихина Е.В. Организационные механизмы управления научно-техническими программами. М.: ИПУ РАН, 1993.

9. Бурков В.Н., Горшков И.С., Черкашин А.М. Совершенствование систем управления эффективностью производства / Планирование, оценка деятельности и стимулирование в активных системах. М.: ИПУ, 1985.

10. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами. М.: Синтег, 1997. – 188 с.

УДК 37.01

Астапенко[1] Ю.В., Поляков[2] В.П., Романенко[1] Ю.А.

[1]ФГКВОУ ВО «Военная академия ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации, Серпухов, Россия

[2]ФГБНУ «Институт стратегии развития образования Российской академии образования», Москва, Россия

АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИЧНОСТИ В ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Построение цифровой экономики, обусловленное широкомасштабным внедрением информационных технологий во все сферы жизнедеятельности современного общества, как никогда ранее обостряет проблему обеспечения информационной безопасности личности, что, в свою очередь, ставит в повестку дня актуализацию проблематики обеспечения информационной безопасности личности в системе отечественного образования с учетом требований национальных проектов и программ. Поэтому основы информационной безопасности личности должны обязательно отражаться в требованиях Федеральных государственных образовательных и Профессиональных стандартов, начиная с первых уровней образовательной системы (дошкольной и школьной), актуализироваться и закладываться в основу учебных планов и программ обучения на всех ступенях многоуровневой системы отечественного образования. В результате анализа требований национальных проектов развития к системе образования должны рассматриваться рекомендации по актуализации требований по обеспечению информационной безопасности личности в системе отечественного образования.

Ключевые слова:

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЛИЧНОСТИ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО, ЦИФРОВАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА

В Национальном проекте «Образование» (https://edu.gov.ru/national-project/), целями которого указаны «обеспечение глобальной конкурентноспособности российского образования, вхождение РФ в число 10 ведущих стран мира по качеству общего образования», а также «воспитание гармонично развитой и социально ответственной личности на основе духовно-нравственных ценностей народов РФ, исторических и национально-культурных традиций» ставится задача по созданию к 2024г. современной и безопасной цифровой образовательной среды, обеспечивающей высокое качество и доступность образования всех видов и уровней. Национальный проект «Образование» – «…это инициатива, направленная на достижение двух ключевых задач. *Первая* – обеспечение глобальной конкурентоспособности российского образования и вхождение Российской Федерации в число 10 ведущих стран мира по качеству общего образования. *Вторая* – воспитание гармонично развитой и социально ответственной личности на основе духовно-нравственных ценностей народов Российской Федерации, исторических и национально-культурных традиций. Национальный проект предполагает реализацию четырёх основных направлений развития системы образования: *обновление* его содержания, *создание* необходимой современной инфраструктуры, *подготовка* соответствующих профессиональных кадров, их переподготовка и повышение квалификации, а также *создание* наиболее эффективных механизмов управления этой сферой». Сроки реализации: 01.01.2019 – 31.12.2024.

Указом Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» (http://base.garant.ru/71937200/#ixzz5Wou7jWMQ) определены цели и стратегические задачи развития РФ, в т.ч. в сфере образования предписывается «…воспитание гармонично развитой и социально ответственной личности на основе духовно-нравственных ценностей народов Российской Федерации, исторических и национально-культурных традиций; …обеспечение глобальной конкурентоспособности российского образования, вхождение Российской Федерации в число 10 ведущих стран мира по качеству общего образования; … создание современной и безопасной цифровой образовательной среды, обеспечивающей высокое качество и доступность образования всех видов и уровней».

В настоящее время Министерство просвещения Российской Федерации осуществляет обсуждение проектов изменений в Федеральные государственные образовательные стандарты начального общего и основного общего образования (https://www.preobra.ru/index), в которых закладываются основы формирования личности в условиях формирования современного информационного общества на ближайшие десятилетия. Отмечается, что «функционирование информационно-образовательной среды должно соответствовать законодательству Российской Федерации, в том числе в области защиты детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию».

Таким образом, для сферы образования особого внимания заслуживает проблема обеспечения информационной безопасности личности в информационно-образовательной среде в условиях развития информатизации образования, что предъявляет актуальные требования к формированию программ и учебных планов дисциплин информационного цикла, а также подготовке кадрового потенциала образовательных учреждений [1,3].

Как отмечалось уже в выступлении Президента РФ В.В. Путина на Первом российском форуме «Интернет Экономика», 22.12.2015г.) современные информационные и коммуникационные технологии могут рассматриваться как технологическая основа информационно-образовательного пространства, обеспечивающего взаимодействие различных категорий пользователей в сфере образования. «Российская аудитория интернета – крупнейшая в Европе, превышает 80 миллионов пользователей, из них 62 миллиона человек выходят в онлайн ежедневно» (https://oko-planet.su/politik/politikrus/303873-pervyy-rossiyskiy-forum-internet-ekonomika.html).

По интегрированным данным опроса фонда «Общественное мнение» (ФОМ) ещё в 2016г. (http://fom.ru/SMI-i-internet/12494) 87% россиян считали, что в целом создание Интернета принесло людям больше хорошего, чем плохого, 10% затруднились ответить и только 3% считают, что в Интернете больше плохого, чем хорошего. В качестве положительных сторон интернета 60% опрошенных отметили – «много полезной и общедоступной информации», 31% – «широкие возможности общения между людьми», 8% – «развлечение, новые формы проведения досуга». Тотальное внедрение информационных и коммуникационных технологий во все виды человеческой деятельности во многом меняет характер взаимодействия в сфере образования, дальнейшее совершенствование образовательной деятельности связано с успешным использованием интернет-среды с обязательным эффективным противодействием её негативным воздействиям.

Как неоднократно отмечалось в педагогической теории и практике, «…теоретическую основу подготовки специалистов сферы образования в области информатизации образования с учетом требований обеспечения информационной безопасности личности составляют выводы педагогической науки по развитию информатизации образования в условиях обеспечения информационной безопасности личности субъектов образовательного процесса в формирующемся информационном обществе [4].

Высокую значимость получают гуманитарные аспекты проблемы информационной безопасности личности, предполагающие воспитание активной гражданской позиции, в особенности в области знания информационного права и информационной культуры [2].

Обеспечение профессионального роста педагогов в области информационных технологий должен быть обеспечен не только постоянным совершенствованием информационной подготовки педагогических кадров, но и обязательным учетом требований к обеспечению информационной безопасности личности в образовательном пространстве [3, 4].

С целью реализации требований Указа Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 ставится задача по созданию к 2024 году современной и безопасной цифровой образовательной среды, обеспечивающей высокое качество и доступность образования всех видов и уровней, для чего требуется обновление примерных образовательных программ по предметной области «Основы безопасности и жизнедеятельности» в части включения вопросов кибербезопасности и «кибергигиены», что позволит обеспечить защищенность детей в сети Интернет от девиантных (идущих вразрез с моральными устоями общества) и деликвентных (антиобщественных противоправных деяний индивида) влияний, а также создание инструмента, обеспечивающего безопасное использование обучающимися сети Интернет, сохраняя собственную идентичность.

Так, например, проектом ФГОС начального образования (http://www.consultant.ru/law/hotdocs/53238.html) предусматривается «…соблюдение общих требований безопасной работы в Интернет»), а проектами ФГОС основного общего образования, которые активно обсуждаются в педагогическом сообществе (https://edu.gov.ru/press/1298/ podgotovleny-novye-proekty-federalnyh-gosudarstvennyh-obrazovatelnyh-standar tov) предусматривается формирование у обучающихся «…необходимости самозащиты от информации, причиняющей вред здоровью и психическому развитию, в том числе, в Интернет-среде» а также «…формирование и развитие компетенций обучающихся в области использования ИКТ на уровне общего пользования, включая владение информационно-коммуникационными технологиями, поиском, анализом и передачей информации, презентацией выполненных работ, основами инфор-

мационной безопасности, умением безопасного использования средств ИКТ и сети Интернет», и «необходимости самозащиты от информации, причиняющей вред здоровью и психическому развитию, в том числе, в Интернет-среде».

Задачей Федерального проекта «Цифровая образовательная среда» является создание современной и безопасной цифровой образовательной среды, обеспечивающей высокое качество и доступность образования всех видов и уровней (https://edu.gov.ru/national-project/).

В системе российского образования важнейшими задачами объективно становятся удовлетворение потребностей общества в создании надежных научно-педагогических, правовых, методических и организационных механизмов для обеспечения информационной безопасности субъектов образовательного процесса, недопущение вреда от опасных информационных воздействий на психическое, нравственное или физическое состояние личности [9].

При этом особую значимость приобретает педагогическое сопровождение изучения вопросов информационной безопасности личности на всех уровнях образования, поскольку полноценная информационная подготовка выпускников с высоким уровнем информационной культуры в многоуровневой системе образования возможна только с учётом всех аспектов информационной безопасности личности [2, 6, 7, 8].

Для защиты информационно-образовательного пространства предпринимаются правовые меры, основополагающими для реализации которых является свод документов, приведенных, например, в [5], в котором обосновано и сформулировано определение термина «*информационная безопасность личности субъектов образовательного процесса*» и предложены научно-методические подходы к ее формированию.

Особо значимым в реализации подготовки педагогических кадров является обеспечение преемственности подготовки в области информационной безопасности личности на всех ступенях отечественной системы образования, начиная с дошкольного [4].

Таким образом, в связи с тем, что широкомасштабное внедрение ИКТ во все виды человеческой деятельности во многом меняет характер взаимодействия и в сфере образования, дальнейшее совершенствование образовательной деятельности связано с эффективным использованием информационно-образовательной среды с обязательным противодействием негативным воздействиям на общественную, корпоративную и личную безопасность, что требует адаптации к постоянному обновлению угроз в сфере информационной безопасности личности [12, 13].

Поэтому основы информационной безопасности личности должны обязательно отражаться в требованиях Федеральных государственных образовательных и Профессиональных стандартов, начиная с первых ступеней образовательной системы (дошкольной и школьной), закладываться в основу учебных планов и программ обучения на всех ступенях многоуровневой системы отечественного образования [10, 11]. Отдельной важнейшей задачей для сферы образования остаётся обеспечение информационной безопасности личности в системе онлайн образования, которая приобретает новый импульс к развитию в условиях глобального кризиса, связанного с пандемией 2020г. и будетактивно развиваться в настоящем и будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астапенко Ю.В., Поляков В.П., Романенко Ю.А. Информационная безопасность личности в информационно-образовательном пространстве российского образования. Сборник трудов XXXVIII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем». Ч.6 // – Серпухов: Филиал Военной академии РВСН им. Петра Великого в г. Серпухове, 2019. С. 5-11.

2. Бешенков С.А, Ваграменко Я.А., Касторнова В.А. и др. Развитие информатизации образования в школе и педагогическом вузе в условиях обеспечения информационной безопасности личности: коллективная монография / С.А. Бешенков С.А, Я.А. Ваграменко, В.А. Касторнова, О.А. Козлов, Э.В. Миндзаева, И.Ш. Мухаметзянов, В.П. Поляков В.П., И.В. Роберт, В.И. Сердюков, Т.Ш. Шихнабиева, Г.Ю. Яламов. – М.: ФГБНУ «ИУО РАО», 2018. – 107 с.

3. Богатырева Ю.И., Козлов О.А., Поляков В.П., Привалов А.Н. Методическая система непрерывной подготовки педагогических и управленческих кадров в области информационной безопасности: концепция // Теоретические и практические аспекты психологии и педагогики: коллективная монография. Выпуск 17. – Уфа: ООО «Аэтерна», 2017. С.27-47.

4. Козлов О.А., Поляков В.П., Информационная безопасность личности: актуальные педагогические аспекты. // Омская гуманитарная академия. Наука о человеке: гуманитарные исследования. № 3 (33). 2018. С.105-112.

5. Поляков В.П. Информационные и коммуникационные технологии в финансово-экономическом образовании // Человеческий капитал. №2 (38). 2012. С.62-66.

6. Поляков В.П. Основы проектирования системы обучения информационной безопасности студентов экономических специальностей. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2006. – 156с.

7. Поляков В.П. Дидактический комплекс «Информационная безопасность» для подготовки студентов экономических специальностей. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2006. – 142с.

8. Поляков В.П. Информационная безопасность в курсе информатики // Информатика и образование, №10, 2006. С.116 – 119.

9. Поляков В.П. Литвинова И.Н. Романенко Ю.А. О подготовке педагогов в области информационной безопасности личности // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза, Пензенский государственный университет, 2019. Т. 2. С. 147-149.

10. Поляков В.П., Романенко Ю.А. Педагогическое сопровождение вопросов информационной безопасности личности в отечественном образовании // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза: Пензенский государственный университет. Т. 1. С. 64-67. 2018.

11. Поляков В.П., Романенко Ю.А. Информационная безопасность личности как педагогическая проблема // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза, Пензенский государственный университет, 2019. Т. 2. С. 145-147.

12. Роберт И.В., Козлов О.А., Мухаметзянов И.Ш. и др. Актуализация содержания предметной области «Информатика» основной школы в условиях научно-технического прогресса периода цифровых технологий // – Омск: Омская гуманитарная академия. Наука о человеке: гуманитарные исследования. № 3 (37). 2019. С.58-72.

13. Irena V. Robert, Viktor P. Polyakov and Oleg A. Kozlov. Information security of the personality of the subjects of the educational process / SHS Web of Conferences 55, 03011 (2018). P. 1 – 9.

УДК 615.035.4

Алферов Ю.В., Семенюк А.В., Сычев И.В., Минаков С.Н., Громов Ю.Ю.

Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный), Тамбов, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАХОСТИЧЕСКИХ И ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СКРЫТЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В данной работе рассматриваются способы моделирования сигналов от естественных и искусственных источников. Один способ основан на моделировании сигналов, используя случайные процессы, второй – используя динамический (детерминированный) хаос.

Моделирование сигналов, используя случайные процессы, сводится к формированию процесса с заданными характеристиками. Имеется множество трудов посвящённых данной тематике, в которых описываются различные методы формирования случайный процессов с заданными статистическими характеристиками (математическое ожидание, дисперсия, закон распределения), временными (заданной автокорреляционной функцией) и частотными характеристиками. В данной работе предлагается разработанный метод формирования случайного процесса с заданной автокорреляционной функцией и законом распределения.

Динамический хаос применяется в различных приложениях, таких как создание источников помех, создание скрытых и защищенных систем связи, кодирование информации. Для этого необходимо создавать устройства формирования хаотических колебаний или генераторы.

Существует множество различных математических моделей генераторов хаотических колебаний, самый известным из них является генератор на основе модели Лоренца. Однако для получения генераторов на практике в виде рабочего изделия необходимо пройти долгий путь разработки и отладки электронного устройства, построенного на дискретных элементах. Но нет полной уверенности, что полученное устройство будет удовлетворять заданным характеристикам.

Ключевые слова:

КОЛЕБАНИЯ, КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ, ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС

Для математического моделирования случайных процессов на ЭВМ целесообразно представлять их в виде последовательностей определённым образом организованных случайных чисел, следующих через определённый интервал времени, называемым интервалом дискретизации [1].

Применяя гипотезу эргодичности стационарных случайных процессов, заменим осреднение по времени осреднением по реализациям случайного процесса.

По определению автокорреляционная функция (АКФ) записывается в виде выражения (1):

$$R(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t)y(t+\tau)dt, \qquad (1)$$

Статистические характеристики псевдослучайного процесса определяются так же, как для непрерывного процесса, но в формулах от интегрирования переходят к суммированию [2]. Для последовательности случайных чисел, образующих псевдослучайный процесс можно рассчитать значения автокорреляционной функции такого процесса. Только теперь АКФ будет дискретной функцией (2), а не непрерывной.

$$R(i) = \frac{1}{N} \times \sum_{j=1}^{N} Y(j)Y(j+i) \qquad (2)$$

В данной работе для расчета значений последовательности случайных чисел (для синтеза псевдослучайного процесса с заданными статистическими характеристиками) используется формула (3).

$$Y(n) = \frac{1}{m} \times \sum_{i=1}^{m} Y(n-i) + k \times z \qquad (3)$$

Проведем анализ формулы (3) на предмет влияния её элементов на параметры АКФ.

Для того чтобы получить реализацию случайного процесса с заданной АКФ необходимо задать некоторую связь нового значения случайного процесса с предыдущими. Так как при моделировании непрерывного случайного процесса на ЭВМ мы заменяем его последовательностью чисел, то необходимо рассчитывать каждый новый элемент последовательности используя некоторое количество предыдущих значений последовательности (эффект «памяти» случайного процесса, определяемого значением средневзвешенного числа предыдущих значений – m) [3].

В математической модели псевдослучайного процесса усреднение m предыдущих значений формируемой последовательности производится в целях получения возможности варьирования значениями интервала корреляции АКФ, зависящего от m. Для каждого следующего интервала дискретизации к полученному значению добавляется случайное значение z, определяемое стандартным генератором случайных чисел с равномерным законом распределения вероятностей на отрезке [-1, 1], увеличенное в k раз, для получения возможности изменения дисперсии случайного процесса [4].

В целях обеспечения стационарности случайного процесса при больших значениях N производится дополнительное преобразование рассчитанных значений $Y(n)$ в соответствии с алгоритмом расчёта последовательности случайных чисел, блок-схема которого представлена на рисунке 1.

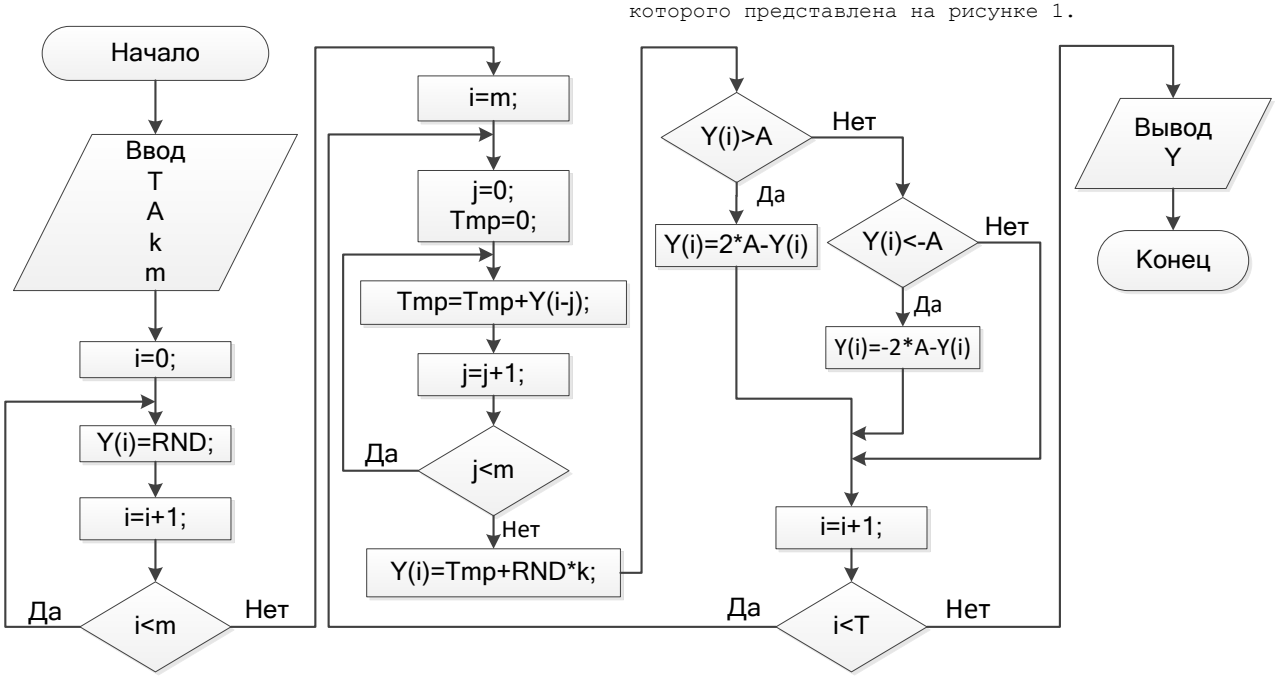


Рисунок 1 – Блок схема алгоритма формирования случайного процесса с заданной АКФ

В начале расчета вводятся необходимые параметры: *T* – длина выходной последовательности чисел (реализации случайного процесса), *A* – максимальное отклонение получаемых значений относительно среднего значения *k* и *m* – значения которых определяют корреляционную функцию. Далее в алгоритме производится определение начальных значений последовательности случайных чисел, задаваемых с помощью стандартного генератора случайных чисел *RND* [5].

Затем производится усреднение *m* предыдущих значений, и к получившемуся среднему прибавляется случайное число *RND*, умноженное на коэффициент *k*. Затем производится преобразование получившегося значения, которое обеспечивает формирование значений случайного процесса в интервале от *-A* до *A* [6].

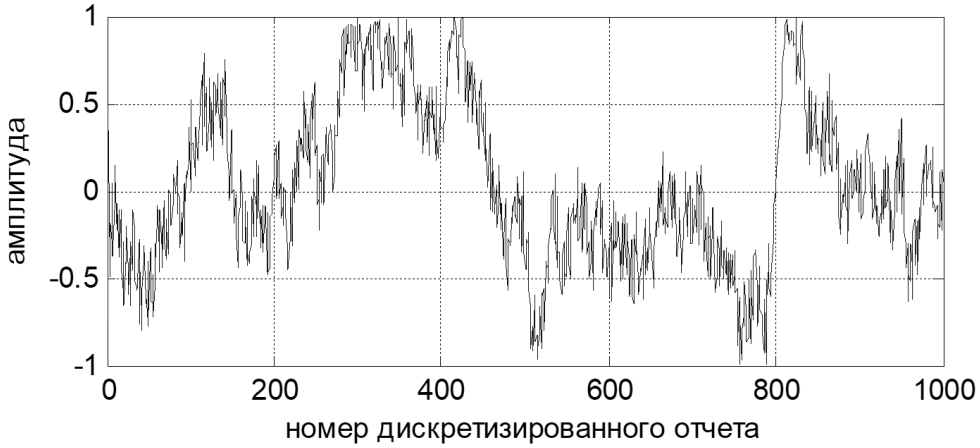


Рисунок 2 – Пример моделирования реализации случайного процесса

На рисунке 2 представлен пример реализации случайного процесса, смоделированного по разработанному алгоритму. При работе данного алгоритма получается псевдослучайный процесс с автокорреляционной функцией, вид которой зависит от параметров *m* и *k*.

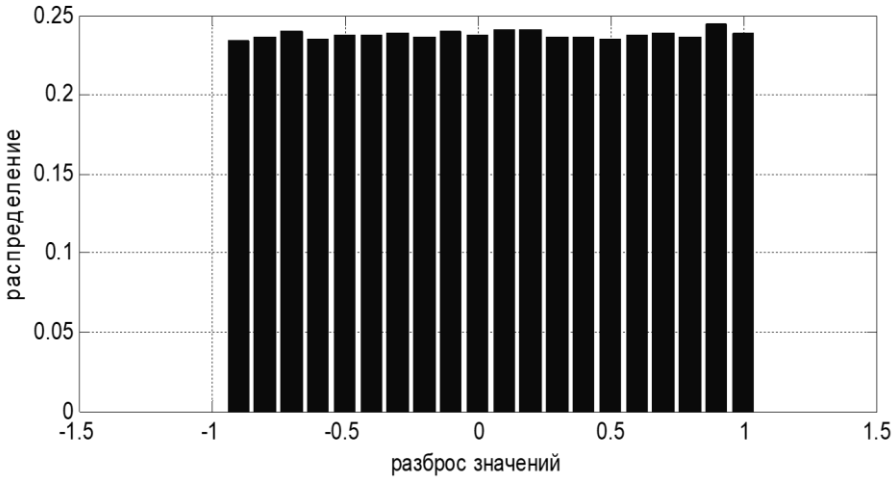


Рисунок 3 – Гистограмма получаемой последовательности случайных чисел

На рисунке 3 представлен пример расчета гистограммы – эмпирической функции плотности вероятности случайной величины, генерируемой процедурой *RND*, построенной по выборке из 10000 данных. Полученная функция распределения достаточно хорошо совпадает с равномерным законом функции распределения вероятностей случайной величины [7].

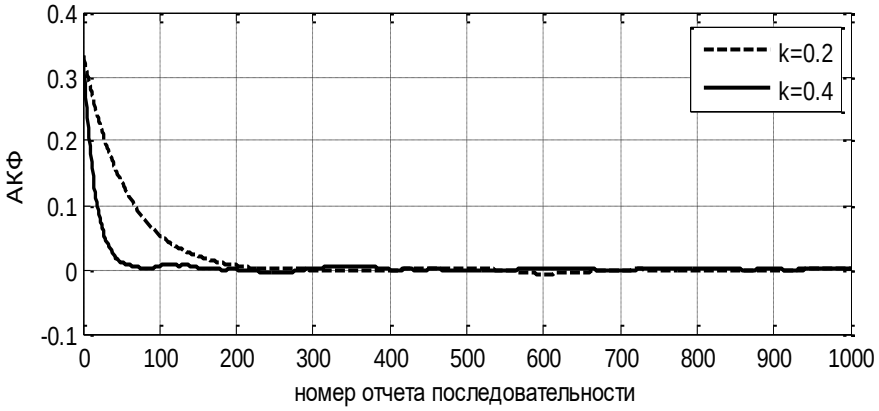


Рисунок 4 – Пример АКФ сгенерированного случайного процесса при различных значениях параметров математической модели

Для расчета автокорреляционной функции использовалась формула (2). На рисунке 4 представлен пример автокорреляционной функции сгенерированного псевдослучайного процесса для различных значений *k* [8].

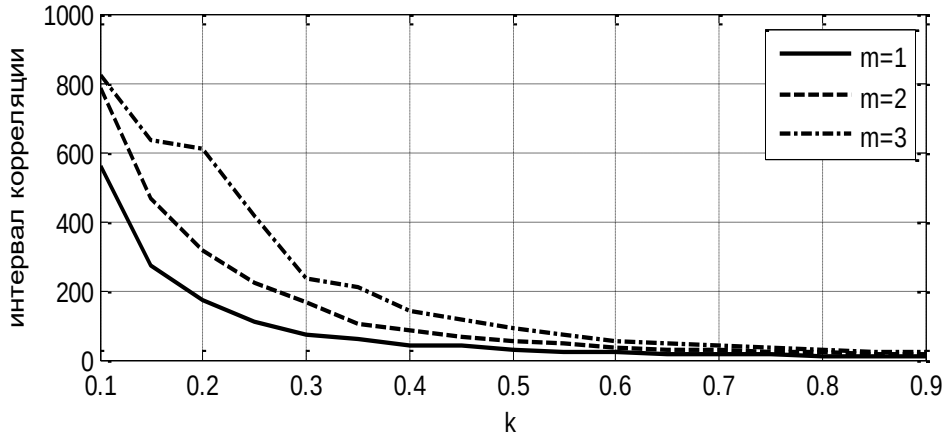


Рисунок 5 – Графики зависимости интервала корреляции сгенерированного случайного процесса от параметров математической модели

Проведено исследование зависимости интервала корреляции от параметров математической модели случайного процесса. На рисунке 5 представлены графики полученных зависимостей интервала корреляции от коэффициента k и величины значения «памяти» – *m* [9].

В таблице 1 приведены экспериментальные данные, по которым построены графики зависимостей интервала корреляции от параметров модели *k* и *m*.

Зависимость интервала корреляции от параметров математической модели *k* и *m* Таблица 1

k \ m	2	3	4	5
0.2	170	280	530	720
0.3	75	135	230	310
0.4	45	75	115	160
0.5	28	44	70	110
0.6	20	30	45	64
0.7	13	21	31	43

Разработанная математическая модель случайного процесса позволяет получать реализацию случайного процесса с заданной автокорреляционной функцией со статистическими характеристиками, зависящими от задаваемых значений параметров *A*, *k*, *m*, *T* математической модели случайного процесса.

Однако невозможно использовать случайные процессы для создания скрытых каналов передачи данных, в связи с тем, что наложенную помеху нельзя снять с информационного сигнала. Для создания скрытого канала передачи данных возможно использование помех на основе динамического хаоса [10].

Динамический хаос – непериодические колебания, возникающие в нелинейных детерминированных системах, демонстрирующие высокую чувствительность к начальным условиям. Эти колебания имеют ряд общих черт со случайными процессами, в частности, сплошной спектр мощности, но их природа связана не со случайностью, а с нелинейными свойствами, порождающими нерегулярные колебания в динамических системах. Также динамический хаос является детерминированным, то есть значение сигнала можно точно рассчитать для каждого момента времени [11].

Наиболее известной и исследованной нелинейной системой дифференциальных уравнений с хаотическими колебаниями является система Лоренца [12]. Специалист по физике атмосферы Э.Н. Лоренц предложил простую модель тепловой конвекции в атмосфере. В общем случае тепловые процессы описываются уравнениями теплопроводности. Лоренц сделал ряж допущений и получил трехмерную модель тепловой конвекции в обыкновенных дифференциальных уравнениях (4).

Система состоит из трех дифференциальных уравнений (4).

$$\begin{cases} \dot{x} = a(y - x) \\ \dot{y} = x(b - z) - y \\ \dot{z} = xy - cz \end{cases} \quad (4)$$

Параметры «*a*», «*b*» и «*c*» задают вид движения точки в фазовом пространстве. При значениях параметров *a*=10, *b*>1 и *c*=8/3 возникают хаотические колебания. Далее в работе значение параметра *b* взято равным 28.

На рисунке 6 изображена фазовая траектория модели при заданных параметрах. По рисунку видно, что имеется два состояния равновесия, так называемый «странные аттракторы Лоренца». У данной траектории имеется несколько особенностей [13].

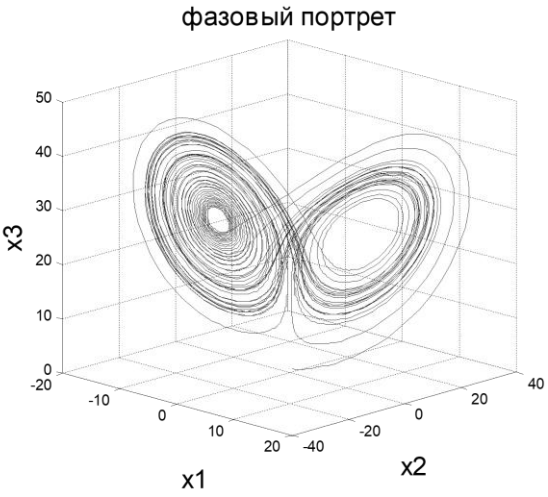


Рисунок 6 – Движение системы в фазовом пространстве

Первая особенность данной траектории заключается в том, что каждая из точек равновесия не является притягивающей. Однако траектория не уходит далеко от точек равновесия и занимает ограниченную область. Таким образом, получаются нерегулярные непериодические движения системы – в системе имеет место хаос.

Второй особенностью является то, что внутри данного аттрактора траектория движения очень чувствительна к начальным условиям. При малейшем расхождении в начальных условиях движение системы будут сильно расходиться почти сразу. Такие аттракторы получили название «странные аттракторы» [14].

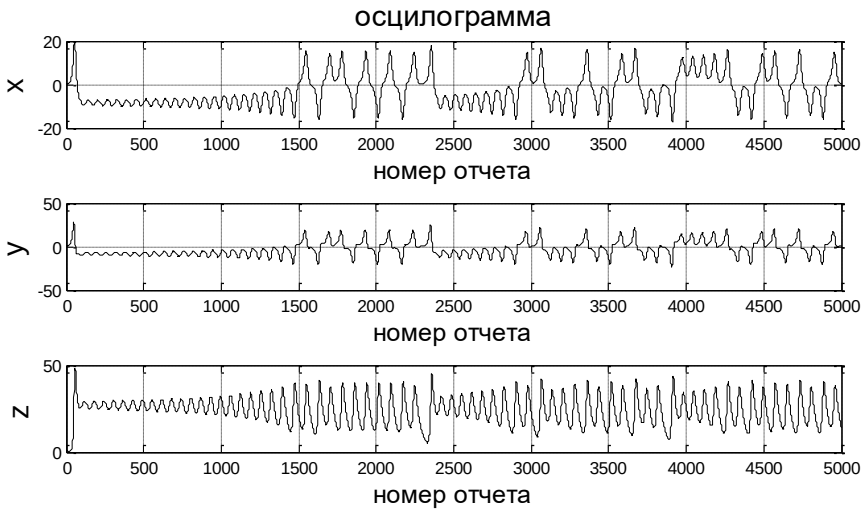


Рисунок 7 – Колебания системы

На рисунке 7 представлены графики изменения каждой переменной в безразмерно времени.

При выборе моделей генераторов хаотических колебаний рассматривались и другие системы дифференциальных уравнений – Лоренца (5), Рикитаке (6), Рёсслера (7), Нозе-Гувера (8).

$$\begin{cases} \dot{x} = x(1-a) - y^2 - z^2 - ac \\ \dot{y} = xy - bxz + d \\ \dot{z} = bxy + xz \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \dot{x} = ay - x \\ \dot{y} = xz - bx - y \\ \dot{z} = c - xy \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \dot{x} = -y - z \\ \dot{y} = dx - ay \\ \dot{z} = b + z(x - c) \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \dot{x} = ay \\ \dot{y} = byz - cx \\ \dot{z} = d - ey^2 \end{cases} \quad (8)$$

В таблице 2 представлены значения параметров, при которых в системах возникают хаотические колебания.

Значения параметров при которых возникают хаотические колебания Таблица 2

Генераторы	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*
Лоренц-84	1	6,4	4,6	1,5	–
Рикитаке	1	1	1	–	–
Реслер	*0,38*	0,368	14	1	–
Нозе-гувер	4	6	1,5	9	6

Из данных генераторов в конечном варианте устройства используется, вместе с генератором Лоренца, только система Рикитаке, так как больше реализовать на ПЛИС не получилось из-за ограничений по количеству логических элементов.

В данной работе рассматривались методы формирования сигналов с заданными характеристиками. Была разработана математическая модель случайного процесса с заданной автокорреляционной функцией. Разработанная математическая модель позволяет получать реализацию случайного процесса с заданной автокорреляционной функцией со статистическими характеристиками, зависящими от задаваемых значений параметров математической модели случайного процесса [15].

Другой предложенный метод формирования сигналов с заданиями характеристиками основан на использовании генераторов хаотических колебаний. Предложен способ реализации генераторов хаотических колебаний в виде рабочего устройства, используя ПЛИС. Показан процесс разработки устройства, а также способ формирования сигнала, используя несколько хаотических колебаний.

Основной особенностью разработанного устройства является:

универсальность;

возможность расширения;

интеллектуальное формирование сигнала.

Универсальность заключается в возможности в одном устройстве содержать несколько генераторов сигналов. Возможность расширения подразумевает быстрый способ обновления устройства путем его замены на новое более мощное, либо просто обновления программы с новыми генераторами колебаний. Интеллектуальное формирование сигнала позволяет получать на выходе устройства колебания как с отдельного генератора, так и сумму сигналов, либо формирование сигнала как последовательность колебаний различной длительности и следующих в различном порядке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж.Бендат, Ф.Пирсол Измерение и анализ случайных процессов. М., "МИР", 1974.

2. С. Минами, Т. Утида, С. Кавата, Я. Сэнга, Т. Окамото, К. Сасаки обработка экспериментальных данных с использованием компьютера: Пер. с япон.; Под. ред. С. Минами. – М.: Радио и связь, 1999. – 256 с.

3. Шахтарин Б.И. и др. Генераторы хаотических колебаний: Учебное пособие / Б.И. Шахтарин, Ю.А. Сидоркина, А.В. Кондратьев, С.В. Митин. – М.: Гелиос АРВ, 2007. – 248 с.: ил.

4. Чирков О.Н. Методы помехоустойчивого обнаружения сигналов в многоантенных системах MIMO с пространственным мультиплексированием. / О.Н. Чирков, М.А. Ромащенко, И.С. Бобылкин, Р.Н. Щипелев, М.И. Соболев – Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2019. – 3 с.

5. Малахин В.А. Разработка программно-аппаратного комплекса синтезатора радиочастот с возможностью плавной перестройки частоты. / В.А. Малахин, С.Н. Гончаров, Е.С. Гончаров – Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2019. – 4 с.

6. Кармалина В.А. Цифровая обработка случайных колебаний. – М.: Машиностроение, 1986. – 80 с.

7. Кармалина В.А. Цифровая обработка случайных колебаний. – М.: Машиностроение, 1986. – 80 с.

8. Колмогоров А.Н., Журбенко И.Г., Прохоров А.В. Введение в теорию вероятностей. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982, 160 с.

9. Ричард Лайонс Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер.
с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006 г. – 656 с.

10. Овсянников А.В. Формирование случайных процессов с заданными вероятностными характеристиками // Труды БГТУ. Сер. физ.-мат. Наук и информ. Вып.X. 2002 – 136 с.

11. Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров: пер. с англ.-М.: Мир, 1990.-312 с.

12. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: Новые носители информации для систем связи.-М.: Физматлит, 2002.-252 с.

13. Короновский А.А., Москаленко О.И., Храмов А.Е. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации // Успехи физических наук.-2009.-т. 179.-№12.-С. 1281-1310.

14. Потемкин, В.Г. Matlab 6: среда проектирования инженерных приложений / В.Г. Потемкин. – М.: Диалог-Мифи, 2003. – 202 с.

15. Рябов И.В. Принципы программно-определяемых радиосистем и их применение в рамках задачи исследования метеорной радиосвязи / И.В. Рябов, С.В Толмачев, А.А. Лебедева. – Технические науки. 2016.– 59-66 с.

УДК 615.035.4

Алферов Ю.В., Семенюк А.В., Сычев И.В., Верещагин Д.Ю., Громов Ю.Ю., Губсков Ю.А.

Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный), Тамбов, Россия

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «БАСТИОН» КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБЪЕКТА

Специальный интеллектуальный программный комплекс «Бастион» предназначен для обеспечения устойчивого и бесперебойного функционирования радиоэлектронных объектов Российской Федерации, а также для организации специальных программных воздействий на радиоэлектронные объекты условного противника. Целью работы является создание программного средства, включающего в себя все основные программные модули сканирования сетей и устройств для выявления уязвимостей и организации атак на сети и устройства противника. Задачами работы являются: создание модуля сканирования сетей; создание модуля сканирования устройств; создание базы данных уязвимостей; создание геолокационной базы данных; создание модуля сканирования сети Wi-Fi; создание модуля подбора ключей аутентификации; создание модуля поиска уязвимостей; создание модуля разработки специальных программных воздействий; создание интеллектуального модуля принятия решений.

Ключевые слова:

УЯЗВИМОСТЬ, АТАКА, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, РАДИОЭЛЕКТРОННЫЙ ОБЪЕКТ

Информационные системы очень плотно вошли в нашу жизнь. На сегодняшний день уже нет таких сфер деятельности, в которых бы не использовались компьютеры, телефоны, смартфоны, носители информации и другие радиоэлектронные объекты (РЭО). Военная сфера не является исключением. В связи с этим всё большее значение приобретают задачи обеспечения устойчивого и бесперебойного функционирования РЭО Российской Федерации. Осуществить их выполнение позволяет определение уязвимостей с помощью сканеров сетевой безопасности.

Специальные программные воздействия – комплекс программных мероприятий и действий, направленных на преодоление системы безопасности РЭО с целью получения закрытой информации, захвата управления, дезинформирования или выведения из строя.

Атакой называется организация специальных программных воздействий.

Источник атаки – программа (оператор), ведущая атаку и осуществляющая непосредственное воздействие [1].

Атаки подразделяются на семь классов: отказ в обслуживании (*Denial of Service*), утечка информации, нарушение прав доступа к файлу, дезинформация, получение доступа к специальным файлам и базам данных, удалённое выполнение программ, расширение прав [2]. Для осуществления этих атак существуют следующие распространенные методы:

1) использование эксплойтов – специальных программ, эксплуатирующих уязвимости в программных средствах, на сегодняшний день существует множество Интернет-ресурсов, в которых постоянно публикуются новые открытые уязвимости в программных продуктах, а также, зачастую, и сами эксплойты;

2) внедрение *Shell*-кода в программы и сервисы для изменения их работы, кроме того, с помощью *shell*-кода атакующий может получить права суперпользователя и выполнять различные команды;

3) сниффинг (*sniffing*) – прослушивание сетевого трафика с целью получения информации;

4) спуфинг (*spoofing*) – подмена сетевых объектов, фальсификация идентификационных данных, *IP*, *MAC* адресов, внутрипакетных данных;

5) *DoS*-атака – вызов ошибки в программе или перегрузка канала/мощности атакуемой машины [3].

Кроме того, по расположению субъекта атаки относительно атакуемого объекта атаки могут быть внутренними (имеется физический доступ к атакуемому компьютеру), внешними из глобальной сети и внешними из локальной сети.

Отдельно стоит выделить внешние атаки из локальной сети, так как они являются одними из самых опасных. Атакующий, получив доступ к одному из компьютеров атакуемой сети либо подключившись к ней, может с лёгкостью завладеть всеми данными этой сети, осуществлять перехват трафика, сетевых сеансов, изменять отправляемые в глобальную сеть пакеты или вызвать системные сбои подключенных серверов.

К таким атакам относятся атаки типа «Посредник» (*Man-In-The-Middle*), основная идея которых состоит в том, чтобы занять место на пути сетевого трафика между хостами и осуществлять его прослушку и изменение. Сегодня прослушивать трафик стало сложнее ввиду того, что повсеместно стали использовать маршрутизаторы и коммутаторы. Старые сети повторяли данные на все узлы, позволяя всем в сети видеть весь трафик. Коммутаторы же не дают такой возможности [4].

По этой причине появилась необходимость в искусственном перенаправлении трафика. Для его осуществления сети могут быть атакованы разными способами, такими как *MAC Flooding*, *ARP Spoofing* или *Spoofing* пакетов маршрутизации. Данные методы сбивают с толку оборудование и передают сетевой трафик на атакующий хост.

Сетевые сканеры направлены на решение следующих задач:

– идентификация и анализ уязвимостей;

– инвентаризация ресурсов, таких как операционная система, программное обеспечение и устройства сети;

– формирование отчётов, содержащих описание уязвимостей и варианты их устранения.

Сканер локальной сети – жизненно необходимое средство для компаний, чья деятельность напрямую связана с хранением и обработкой уникальных баз данных, конфиденциальной информации, ценных архивов. Без сомнения, сканеры сети необходимы организациям в сферах обороны, науки, медицины, торговли, *IT*, финансов, рекламы, производства, для органов власти и диспетчерских служб – словом, везде, где нежелательна или даже опасна утечка накопленной информации, имеются базы персональных данных клиентов [5].

Сканеры уязвимостей сети при своей работе используют два основных механизма. Первый – зондирование – не слишком оперативен, но точен. Это механизм активного анализа, который запускает имитации атак, тем самым проверяя уязвимость. При зондировании применяются методы реализации атак, которые помогают подтвердить наличие уязвимости и обнаружить ранее не выявленные «провалы».

Второй механизм – сканирование – более быстрый, но даёт менее точные результаты. Это пассивный анализ, при котором сканер ищет уязвимость без подтверждения её наличия, используя косвенные признаки. С помощью сканирования определяются открытые порты и собираются связанные с ними заголовки. Они в дальнейшем сравниваются с таблицей правил определения сетевых устройств, ОС и возможных «дыр». После сравнения сетевой сканер безопасности сообщает о наличии или отсутствии уязвимости.

Большинство современных сканеров безопасности сети работает по нижеперечисленным принципам:

– сбор информации о сети, идентификация всех активных устройств и сервисов, запущенных на них;

– обнаружение потенциальных уязвимостей;

– подтверждение выбранных уязвимостей, для чего используются специфические методы и моделируются атаки;

– формирование отчётов;

– автоматическое устранение уязвимостей. Не всегда данный этап реализуется в сетевых сканерах безопасности, но часто встречается в сканерах системных. Существует возможность создания резервного сценария, который может отменить произведенные изменения, – например, если после устранения уязвимости будет нарушено полноценное функционирование сети.

Одним из главных требований к современным сетевым сканерам уязвимостей, помимо собственно безопасности, является поддержка различных операционных систем. Большинство популярных сканеров – кроссплатформенные (включая мобильные и виртуальные ОС).

Сканеры сети исследуют сразу несколько портов, что снижает время на проверку. Конечно, сканер должен проверить не только операционную систему, но и программное обеспечение, особое внимание уделяя популярным в хакерской среде продуктам *Adobe Flash Player*, *Outlook*, различным браузерам. К полезной функции сканеров нужно отнести и проверку раздробленной сети, что избавляет администратора от необходимости оценивать каждый узел в отдельности и несколько раз задавать параметры сканирования.

В данной работе для поиска уязвимостей устройств предлагается использовать программный комплекс «Бастион».

В отличие от существующих сканеров сетевой безопасности, программный комплекс «Бастион» имеет следующие преимущества:

– высокая скорость проверки доступности и сканирование портов;

– противодействие обнаружению процесса сканирования;

– отсутствие недекларированных возможностей и программных закладок в разрабатываемом программном комплексе;

– автоматизированный процесс сбора и анализа результатов сканирования;

– определение местоположения РЭО по результатам сканирования;

– обнаружение скрытых точек доступа и абонентских терминалов беспроводных сетей, подключённых к ним;

– подбор *WEP*, *WPA-PSK* ключей аутентификации беспроводных сетей стандарта 802.11;

– определение уязвимостей программного и аппаратного обеспечения сканируемого объекта.

Комплекс «Бастион» имеет модульную архитектуру (рис. 1). По назначению модули разделены на несколько групп: модули анализа проводных и беспроводных сетей РЭО (взаимодействие с сетью), модули обнаружения и эксплуатации уязвимостей программного обеспечения и модули взаимодействия с базами данных.

Рисунок 1 – Модульная архитектура комплекса «Бастион»

Рисунок 2 - Результаты работы модуля сканирования устройств комплекса «Бастион»

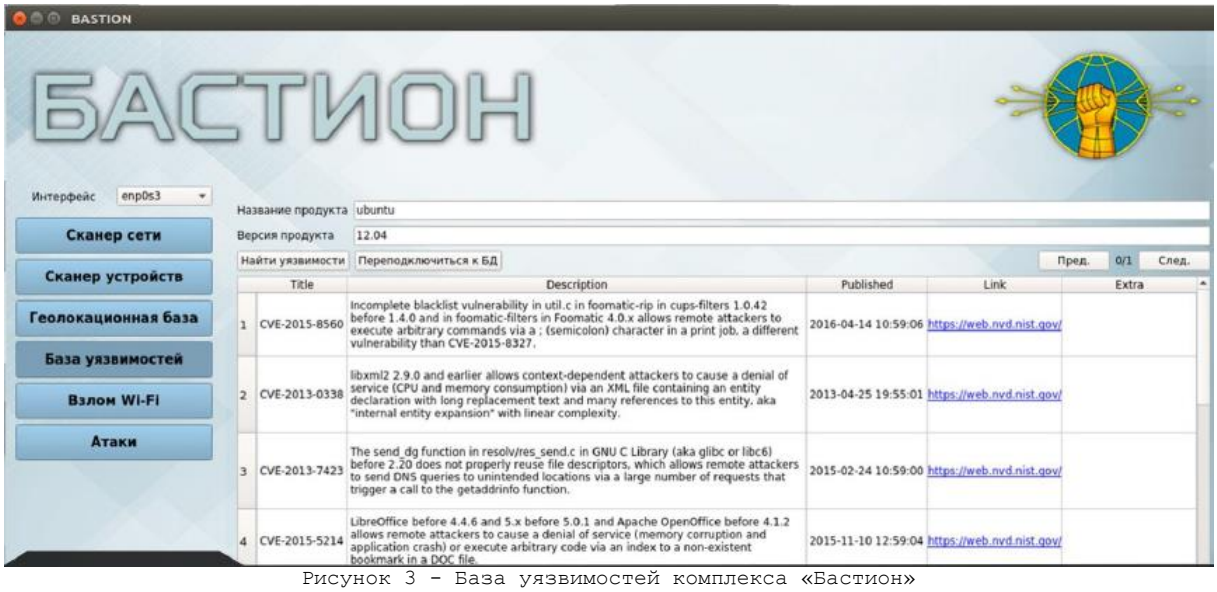


Рисунок 3 – База уязвимостей комплекса «Бастион»

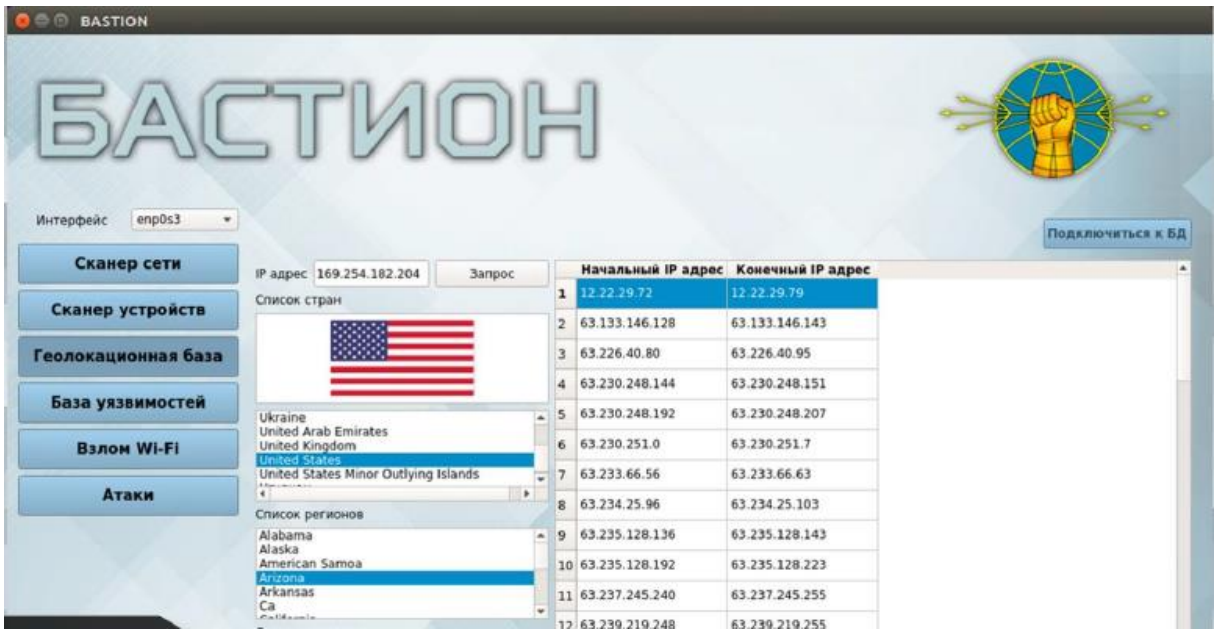


Рисунок 4 – Работа геолокационная базы данных комплекса «Бастион»

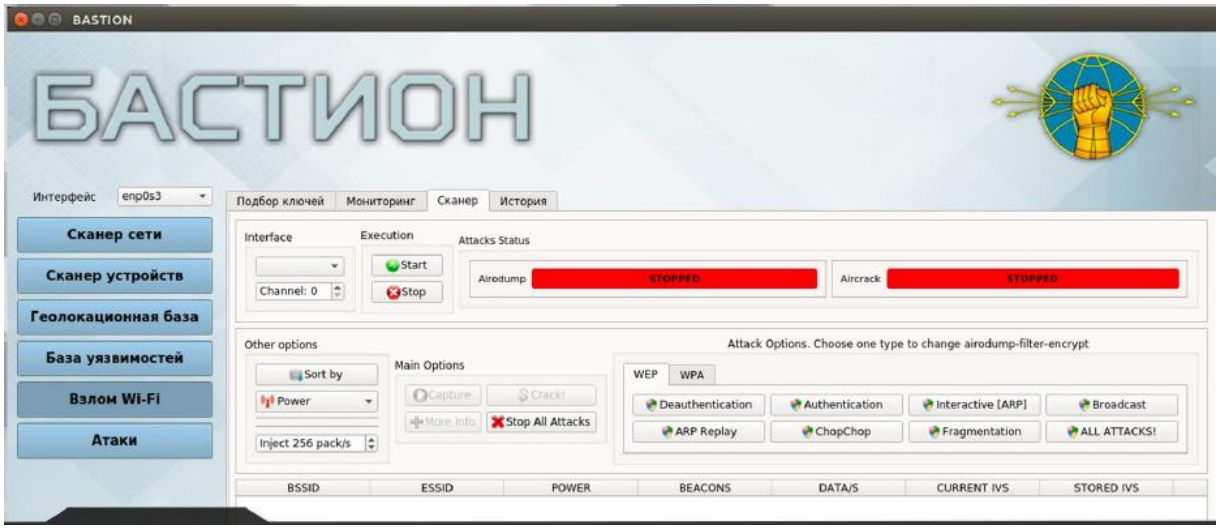


Таблица 2 – Работа *Wi-Fi* сканера комплекса «Бастион»

Модуль сканирования портов предназначен для скрытного выявления работы сервисов и служб, запущенных на сканируемом устройстве. Параметры настройки сканирования позволяют выбрать метод сканирования, диапазоны сканируемых портов и адресов РЭО в сети, а также протокол передачи данных. В результате работы модуль предоставляет информацию о доступных для взаимодействия сервисах РЭО, номера их порта и название службы (рис. 2).

Результаты работы показанных модулей используются для организации специальных программных воздействий, хранящихся в базе уязвимостей. База уязвимостей (рис. 3) содержит описание уязвимости на английском языке, список подверженного

этой уязвимости программного обеспечения, условия использования и вредоносный код эксплуатации.

Сформированная геолокационная база данных используется для осуществления специальных воздействий на радиоэлектронные объекты по принадлежности к стране, региону или городу (рис. 4). Комплекс «Бастион» автоматически формирует и отображает перечень стран, регионов, городов и соответствующих им диапазонов *IP*-адресов.

Для организации специальных программных воздействий на РЭО взаимодействующих посредством беспроводных сетей в комплексе «Бастион» разработан модуль сканирования *Wi-Fi*, который позволяет выполнять поиск и обнаружение скрытых точек доступа и подключённых к ним абонентских терминалов (рис. 5). Модуль выполняет перехват данных, передаваемых по беспроводным сетям стандарта 802.11 и определяет используемый тип шифрования. В процессе работы модуль отображает уровень сигнала беспроводной сети, скорость передаваемых данных и используемый канал.

Для определения ключа шифрования данных, собранных модулем сканирования *Wi-Fi*, используется модуль подбора ключей аутентификации (рис. 6). В процессе аудита используются уязвимости в протоколах обеспечения безопасности беспроводной передачи данных, а именно *WEP* и *WPA-PSK*.

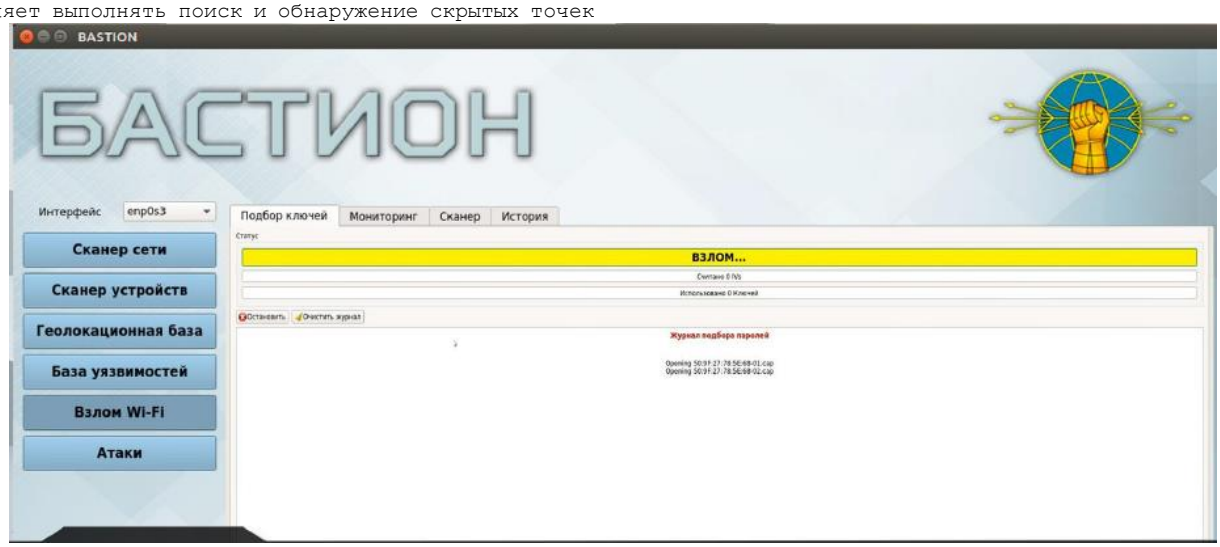


Рисунок 6 **-** Работа модуля подбора ключей комплекса «Бастион»

Разработанный программный комплекс используется для анализа информационной инфраструктуры радиоэлектронных объектов, что позволяет эффективно определять уязвимости в системах военного и двойного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабин С.А. Инструментарий хакера // БХВ-Петербург. – 2015. – С. 240.
2. Weidman G. Penetration testing: a hands-on introduction to hacking // No Starch Press. – 2014. – С. 531.
3. Уолтон Ш. Создание сетевых приложений в среде Linux // Издательский дом «Вильямс». – 2001. – С. 464.
4. Кулыгин В.Н. Особенности создания базы данных для современных автоматизированных систем проектных исследований надежности электронных средств. / В.Н. Кулыгин, Ю.О. Серебрякова, А.Е. Цеплина – Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2019. – 4 с.
5. Мехтиева А.М. Анализ показателей надежности мультисервисных корпоративных сетей на базе SDN технологий. / А.М. Мехтиева, И.Н. Бахтияров – Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2019. – 4 с.

УДК 615.035.4

Семенюк А.В., Сычев И.В., Алферов Ю.В., Громов Ю.Ю., Шатских В.В., Губсков Ю.А.
Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный), Тамбов, Россия

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕРЕЗ АНАЛИЗ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОБСТАНОВКИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SDR-ПРИЕМНИКА

В работе рассматриваются вопросы применения технологии SDR при анализе радиоэлектронной обстановки полученной с помощью БПЛА. Рассмотрены основные принципы технологии SDR. Описана модель функционирования программного комплекса обработки цифровой информации с SDR-приемника. Рассмотрена математическая модель обработки сигналов, поступающих с SDR-приемника. Показано отображение спектра сигнала полученного с помощью написанного программного обеспечения для SDR-приемника. Приведено описание процесса воспроизведения частотно-модулированного сигнала с помощью программного обеспечения, написанного для SDR-приемника. Цель работы – уменьшение времени на анализ радиосигналов оператором путем разработки программного средства обработки цифровой информации с SDR-приемника. Объектом исследования в данной работе является программное обеспечение для обработки цифровой информации с SDR-приемника. Предметом исследования являются модели и алгоритмы реализации основных функций цифровых систем радиосвязи.

Ключевые слова:
БПЛА, РАДИОРАЗВЕДКА, ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМАЯ РАДИОСИСТЕМА, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, СПЕКТР СИГНАЛА

Одной из целевых задач, которые возлагаются на БПЛА, является радиоразведка. Для ее выполнения необходим своевременный анализ радиоэлектронной обстановки в зоне действия данного БПЛА. Такой анализ может быть осуществлен с применением концепции *SDR*.

Программно-определяемая радиосистема (*SDR*) – это любое устройство передачи данных, в котором некоторые или все функции физического уровня являются программно-определяемыми. Суть технологии *Software Defined Radio* заключается в том, что базовые параметры приёмопередающего устройства определяются именно программным обеспечением, а не аппаратной конфигурацией, как мы привыкли видеть в классических конструкциях. Таким образом, это словосочетание можно перевести, к примеру, как «радио, определяемое программным

обеспечением», но можно пойти дальше и сократить до двух слов: «программное радио», но с этим вариантом следует быть осторожным и в контексте стараться подчёркивать, что несмотря на упоминание эпитета «программный», мы имеем дело именно с аппаратным обеспечением, параметры которого определяются программно.

Цель работы – уменьшение времени на анализ радиосигналов оператором путем разработки программного средства обработки цифровой информации с *SDR*-приемника.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

– разработать алгоритмы обработки цифровой информации с *SDR*-приемника;

– разработать «дружественный» интерфейс, позволяющий оператору использовать необходимые функции программного обеспечения.

Объектом исследования в данной работе является программное обеспечение для обработки цифровой информации с *SDR*-приемника. Предметом исследования являются модели и алгоритмы реализации основных функций цифровых систем радиосвязи.

В *SDR*-оборудовании форма модулированного радиосигнала задается в программном обеспечении. Формируется цифрой сигнал, который затем с помощью широкополосного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) преобразуется в аналоговый на промежуточной частоте (ПЧ) [1]. Далее сигнал ПЧ посредством преобразования вверх превращается в высокочастотный сигнал. В приемнике все происходит в обратном порядке. Широкополосный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) преобразует в цифровой вид множество узкополосных сигналов, попадающих во входной тракт приемника (рис. 1).

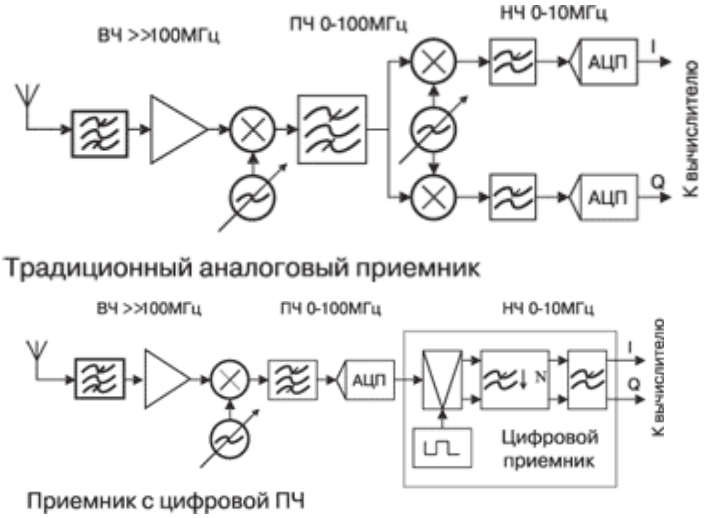


Рисунок 1 - Сравнение традиционного аналогового приемника и цифрового *SDR*-приемника

В соответствии со встроенным программным обеспечением приемник извлекает, преобразует вниз и производит демодуляцию сигналов каждого канала, т.е. технология *SDR* позволяет изменять эксплуатационные параметры радиооборудования на уровне программного обеспечения. Разрабатываемые в рамках тех или иных стандартов улучшенные алгоритмы обработки сигнала и новые виды сервиса не могут быть внедрены по причине их низкой окупаемости. Аналогичный эффект – в случае перехода от одного стандарта связи к другому. Существующие приемопередатчики разработаны, как правило, для работы с сигналами, соответствующими одному определенному стандарту связи. При необходимости работы с сигналами других стандартов пользователь вынужден полностью менять оборудование. Конкурентные преимущества в этих условиях получают системы с наибольшей гибкостью [2].

Технология *SDR* позволяет решать такие проблемы и позволяет "малой кровью" модернизировать одну из наиболее сложных и дорогих частей приемо-передающей аппаратуры - ее трансивер. Трансивер, разработанный в концепции *SDR*, обеспечивает поддержку широкого спектра стандартов связи. Перепрограммирование трансивера для его адаптации под другой стандарт связи не влечет за собой изменения в аппаратной части. Отличительными чертами таких устройств являются:

– сверхширокополосная и малошумящая радиочастотная часть, обладающая большим динамическим диапазоном;

– высокоскоростной с большим динамическим диапазоном тракт аналого-цифрового преобразования;

– обладающий большой вычислительной мощностью сигнальный процессор и специализированный цифровой тракт фильтрации.

Одной из реализаций *SDR*-приемника является ТВ-тюнер на базе чипа *RTL2832U*, который представляет собой компактное устройство, подключаемое к компьютеру с помощью стандартного интерфейса *USB* 2.0. Стоимость данного устройства в комплекте с антенной составляет менее 12 долларов США, его электронные компоненты производятся в Тайване, что исключает возможные проблемы с приобретением из-за санкций [3].

Помимо самого чипа *RTL2832U* ТВ-тюнер содержит микросхему радиомодуля и небольшое количество аналоговых элементов, что упрощает и снижает стоимость специальных проверок. Данный радиомодуль для заданной ему несущей частоты

$$f_0 = \in [24\ \text{МГц}, 1766\ \text{МГц}] \quad (1)$$

в штатном режиме эксплуатации выдает промежуточную частоту с шириной полосы 6, 7, 8 МГц.

Данный сигнал S(t) поступает на вход квадратурного демодулятора в чипе RTL2832U, в котором происходит разделение сигнала на две составляющие: синфазную и квадратурную

$$S(t) = iQ(t) + I(t), \quad (2)$$

подаваемые затем на входы двухканального АЦП, также входящего в состав чипа RTL2832U. Данный АЦП работает с частотой дискретизации 28,8 МГц, задаваемой кварцевым резонатором, а сами компоненты цифровых отсчетов сигнала I_d и Q_d представляются в виде целых чисел разрядностью 8 бит.

Перед выдачей оцифрованных отсчетов в компьютер по интерфейсу *USB* 2.0 происходит их передискретизация с фильтрацией на частоту дискретизации $F_{АЦП}$, не превышающую 3,2 МГц. Однако, на практике реально достижимое значение этой частоты дискретизации $F_{АЦП}$ составляет 2,4 МГц, так как существуют ограничения, накладываемые реализацией интерфейса *USB*. Одновременно с заданием значения $F_{АЦП}$ программной библиотекой управления выполняется перенастройка ширины полос пропускания фильтров на значение, равное половине $F_{АЦП}$ [4]. Далее выполняется их преобразование в формат с плавающей точкой и приведение значений в диапазон [–1;1].

Для перехода в частотную область выполняется преобразование Фурье согласно выражению:

$$Z_k = \sum_{n=0}^{N-1} S_n e^{-i2\pi k\frac{n}{N}}, k = \overline{0, N-1}, \quad (3)$$

где N – количество точек дискретного преобразования Фурье, равное числу комплексных отсчетов сигнала вида S = I + iQ, над которыми выполняется преобразование [5].

В результате преобразования получаются комплексные значения частотных компонент спектра

$$Z_k = X_k + iY_k \quad (4)$$

по которым вычисляются нормализованные значения амплитуд этих частотных компонент,

$$A_k = \frac{|Z_k|}{N} = \frac{\sqrt{X_k^2+Y_k^2}}{N} \quad (5)$$

соответствующие частотам в диапазоне

$$\left[f_0 - \frac{F_{АЦП}}{2}, f_0 + \frac{F_{АЦП}}{2}\right], \quad (6)$$

где f0 – центральная частота радиомодуля, принадлежащая указанному диапазону.

Поскольку в состав радиомодуля входят аналоговые фильтры, которые ограничивают полосу частот сигнала, подаваемого на входы АЦП, получаемые значения амплитуд сигнала на границах диапазона уменьшаются по сравнению со значениями вблизи центральной частоты f0. Для получения актуальных данных из указанного диапазона выбирается лишь заданный процент вблизи центра, для чего вводится значение процента использования полосы частот W. В таком случае реально используемый диапазон частот будет составлять

$$\left[f_0 - \frac{F_{АЦП}}{2} \times \frac{W}{100\%}, f_0 + \frac{F_{АЦП}}{2} \times \frac{W}{100\%}\right]. \quad (7)$$

Для оценки распределения амплитуд сигнала каждой частотной компоненты спектра на одной центральной частоте радиомодуля f0 выполняется M циклов оцифровки цифровых отсчетов по N отсчетов в каждом из них [6].

Для каждой группы из N отсчетов выполняются рассмотренные ранее операции дискретного преобразования Фурье и нахождение амплитуд частотных компонент [7]. Итогом данных вычислений будет формирование выборки из M значений амплитуды Ai, $i = \overline{1,M}$.

Для каждой полученной выборки определяются значения выборочного среднего $\bar{A}$ и выборочной дисперсии S2 в соответствии с выражениями

$$\bar{A} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} A_i, \quad (8)$$

$$S^2 = \frac{1}{M-1}\sum_{i=1}^{M}(A_i - \bar{A})^2 \quad (9)$$

При увеличении объема выборки выборочное среднее стремится к значению математического ожидания μ, а выборочная дисперсия – к значению дисперсии σ2.

$$\lim_{M\to\infty} \bar{A} = \mu, \lim_{M\to\infty} S^2 = \sigma^2. \quad (10)$$

Эти значения используются для построения теоретической функции плотности распределения амплитуд сигнала для нормального закона [8]:

$$f(A) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(A-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \quad (11)$$

Теоретическое значение вероятности попадания амплитуды шумового сигнала в i-ый интервал определяется как

$$P_i = F(\tilde{A}_i) - F(\tilde{A}_{i-1}) \quad (12)$$

где F(A) является функцией распределения для нормального закона

$$F(A) = \frac{1}{2}\left[1 + erf\left(\frac{A-\mu}{\sqrt{2\sigma^2}}\right)\right]. \quad (13)$$

В результате проведенных вычислений каждая частотная компонента участка спектра в диапазоне частот при заданной центральной частоте радиомодуля f0 в текущий момент времени характеризуется вектором параметров:

$$C = (\mu_C, \sigma_C, \chi_C^2). \quad (14)$$

Время, необходимое для выполнения M циклов приема и оцифровки отсчетов радиосигнала по N отсчетов в каждом цикле при заданной центральной частоте радиомодуля f0 и частоте дискретизации АЦП FАЦП, что позволяет получить информацию об участке спектра шириной $F_{АЦП} \times \frac{W}{100\%}$, будет определяться выражением:

$$t_П = \frac{M \times N}{F_{АЦП}}. \quad (15)$$

При сканировании широкого диапазона частот производится циклическая перестройка центральной частоты радиомодуля f0 от начальной до конечной границы анализируемого диапазона частот в допустимых пределах [9]. Для каждой частотной компоненты спектра из рассматриваемого диапазона частот формируется и сохраняется вектор параметров вида

$$R = (\mu, \mu_{MIN}, \mu_{MAX}, \sigma, \sigma_{MIN}, \sigma_{MAX}, \chi^2, \chi^2_{MIN}, \chi^2_{MAX}). \quad (16)$$

Так же для осуществления мониторинга определенного частотного диапазона необходимо прослушивание сигнала на заданной частоте. На рис. 2 показана схема реализации процесса воспроизведения частотно модулированного сигнала.

Рисунок 2 - Схема реализации процесса воспроизведения частотно-модулированного сигнала

Данные, полученные от источника сигнала, выбираются с отступом 250000 Гц для того чтобы избежать проблем смещения, свойственных ТВ-тюнеру на базе чипа RTL2832U. Затем принятый сигнал фильтруется и обрабатывается таким образом, чтобы сфокусировать его на информативной составляющей, которая имеет полосу пропускания 200 кГц. В дальнейшем сигнал передается на частотный детектор, который осуществляет операцию демодуляции. Также нужно осуществить перенос сигнала на стандартную частоту дискретизации звука (примерно 44,1-48 кГц) и, наконец, воспроизвести его [10].

В качестве среды для реализации программного средства был выбран QtCreator, что обусловлено следующими факторами:

Обширная справочная библиотека, встроенная в среду;

Наличие большого количества официальных и сторонних библиотек, позволяющих применять готовые функции;

Возможность кроссплатформенной разработки, в том числе для операционных систем, сертифицированных Министерством Обороны [11].

Языком программирования, который был выбран для реализации комплекса, является C++. Это компилируемый, статически типизированный язык программирования общего назначения. Его выбор обусловлен следующими преимуществами:

Высокая совместимость с языком Си;

Как следствие предыдущего пункта – вычислительная производительность;

Поддержка различных стилей программирования [12].

На рис. 3 показан интерфейс модуля сканирования спектра сигнала в заданном диапазоне частот. Оператору предлагается ввести минимальную и максимальную частоту диапазона для сканирования, а также выбрать частоту дискретизации, которая влияет на шаг сканирования.

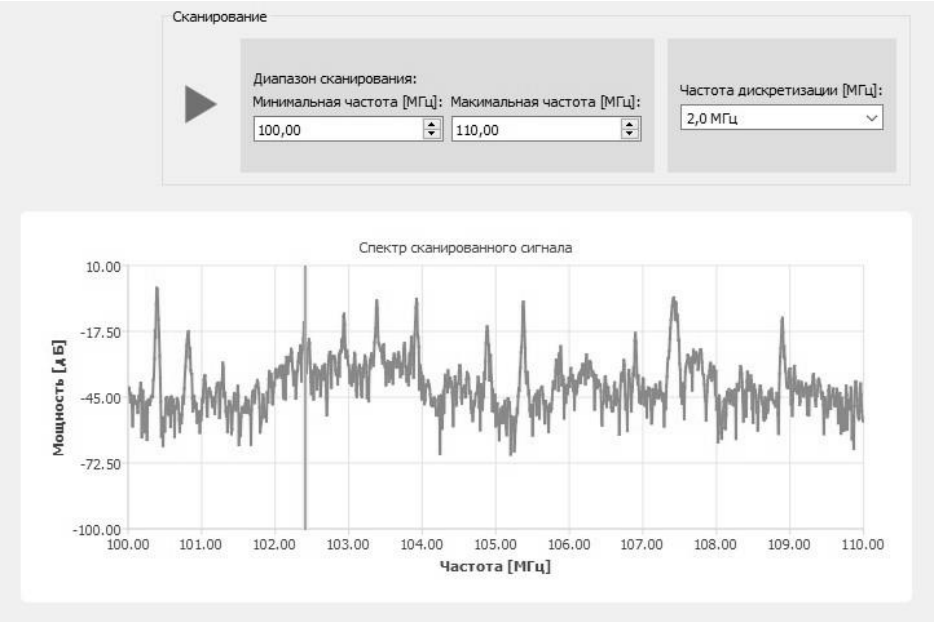


Рисунок 3 - Интерфейс модуля сканирования спектра сигнала в заданном диапазоне частот

На рис. 4 изображен интерфейс модуля воспроизведения сигнала на заданной частоте. Для прослушивания сигнала необходимо задать частоту воспроизведения, которая может быть выбрана на спектре сканированного сигнала или введена вручную.

В данной работе рассмотрена математическая модель функционирования *SDR*-приемника на базе чипа *RTL2832U*. При использовании современных многоядерных процессоров сканирование широкого диапазона частот хорошо поддается распараллеливанию, при котором в одном вычислительном потоке организуется перенастройка радиомодуля на следующую центральную частоту и получение оцифрованных отсчетов, тогда как в другом вычислительном потоке параллельно производится обработка ранее полученного блока цифровых отсчетов.

Разработанное программное обеспечение позволяет оператору проводить мониторинг радиочастотного диапазона. Визуальное отображение данных, поступающих на *SDR*-приемник, позволяет оператору наглядно видеть разницу в уровнях сигналов, отслеживать изменения мощности сигналов во времени, а также прослушивать частотно модулированный сигнал на заданной частоте (рис. 5).

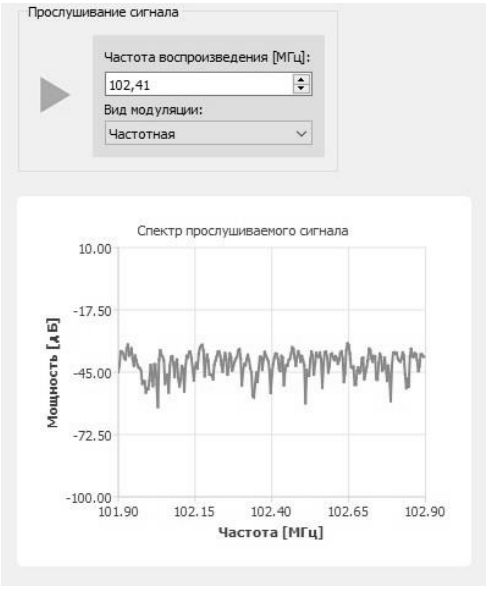


Рисунок 4 - Интерфейс модуля воспроизведения сигнала на заданной частоте

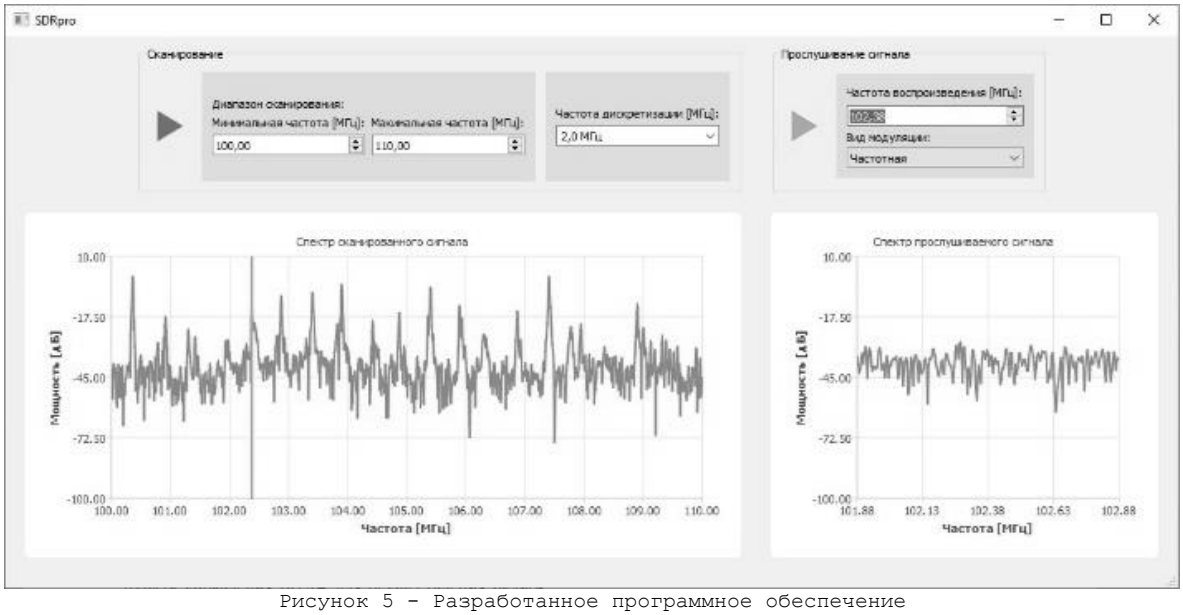


Рисунок 5 - Разработанное программное обеспечение

Таким образом, программное обеспечение для устройства, поддерживающего технологию *SDR*, позволит оператору пункта управления БПЛА вести разведку радиочастотных диапазонов конкретной территории на предмет несанкционированных излучений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Койнов А. Решения *SDR* для аппаратуры *WiMAX*: ПЛИС, *DSP* или нечто иное? // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2007. – С. 76.
2. Руднев П. Технологии *SDR* на службе у разработчиков систем // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2009. – С. 3.
3. Панченко А.А. Оценка возможностей мониторинга радиоэфира с помощью программно-определяемой радиосистемы на основе чипа *RTL2832U* // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2014. – С. 132-135.
4. Панченко А.А. Мониторинг работы генератора электромагнитного шума с помощью программно-определяемой радиосистемы под управлением ОС *Astra Linux* // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2015. – С. 22-28.
5. Понятие *I/Q* сигналов и квадратурной модуляции [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://radioprog.ru/post/415 (дата обращения 10.05.2019)
6. Тропченко А.А. Цифровая обработка сигналов. Методы предварительной обработки. Учебное пособие по дисциплине «Теоретическая информатика» // СПб: СПбГУ ИТМО. – 2009. – С. 100.
7. Боков А.С. Ретрансляционный имитатор сигналов для проверки характеристик бортовых радиолокационных систем и устройств // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – С. 40-49.
8. Боков А.С. Учет переменных параметров линейной частотной модуляции в имитаторе отраженных сигналов для радиовысотомеров // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – С. 60-67.
9. Матвеев Ю.Н. Цифровая обработка сигналов. Учебное пособие по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» // СПб: СПбНИУ ИТМО. – 2013. – С. 166.
10. *Capture and decode FM radio* [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://witestlab.poly.edu/blog/capture-and-decode-fm-radio/ (дата обращения 16.01.2020)
11. *QtCreator* [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.qt.io/product (дата обращения 17.01.2020)
12. Страуструп Б. Язык программирования *C++* // СПб: Невский диалект. – 1999. – С. 884.

УДК 615.035.4

Рогачёв А.И., Шайхаматов А.А., Попов Д.С.

Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный), Тамбов, Россия

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КАНАЛА СВЯЗИ С УЧЕТОМ НЕПОЛНОТЫ ДАННЫХ

Проведен анализ различных моделей каналов связи, с целью построения обобщенной модели, в ходе которого была решена задача оценки точности модели и ее полноты. Во время работы были рассмотрены особенности моделирования среды распространения между передающим и приемным радиоэлектронным устройством такие, как совпадение дискретности временных отсчетов моделирующего устройства и спектральная плотность распределения энергии радио и радиотехнических сигналов. Выполнен сравнительный анализ, работы с многомерными массивами данных для группирования логически коррелируемых параметров радиосигналов, каналов связи и приемопередающих радиоустройств. Возможность применения многомерными массивами данных полученных при моделировании канала связи для работы с базами данных радиосигналов. В работе учтено использование электрических и магнитных параметров среды распространения при создании естественных и антропогенных помех. Добавление корреляционной связи между физическими характеристиками среды распространения и естественными и антропогенными помехами, как инструмент добавления шумовой помехи в модели каналов связи.

Ключевые слова:

МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЭЛЕКТРО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, РАДИОСИГНАЛЫ, МНОГОМЕРНЫЕ МАССИВЫ ДАННЫХ.

Введение

Известно, что математическое моделирование поведения радиотехнических систем существенно облегчает процесс их практического воплощения. Выбор и последующее использование системы моделирования во многом определяется условиями выполняемой задачи, объектом моделирования и установленными ограничениями и допущениями. В данной работе был применен программный пакет MATLAB 2009R. Этот выбор обусловлен развитыми возможностями по работе с матрицами, которые позволяют существенно упростить и ускорить выполнение различных математических операций с ними.

Основная часть

В процессе ведения радио- и радиотехнического контроля требуется максимально быстрая идентификация сигнала и определение его параметров. Развитие науки и техники обусловливает расширение спектра применяемых радиосигналов (РС) во всех областях радиотехники: связи, управлении, локации и навигации. Используя моделирование, можно спрогнозировать изменение формы и параметров РС с достаточной точностью, в случае наличия данных о параметрах передающего, приемного радиоустройств (РУ) и среды распространения сигнала, которые вместе образуют канал связи. Высокая сложность моделирование канала связи проистекает из стохастической природы среды распространения РС, обусловленной действующими помехами различного вида.

В действительности параметры РУ получить достаточно просто, параметры среды распространения являются изменяемыми во времени и распределенными в пространстве, поэтому эти параметры в моделировании имеют вид статистических данных.

В таблице 1 приведены некоторые параметры среды распространения, которые можно использовать для моделирования. Например, зная характеристики телефонного провода можно рассчитать тепловые потери вследствие электрического сопротивления, как часть влияния на затухание сигнала.

Примеры статистических и детерминированных данных среды распространения Таблица 1

№	Тип	Материал	Протяженность	Температура окружающей среды
1	Радиотрасса	78% – N_2 21% – O_2	127 километров	24,4° С
2	Телефонный провод	98% – Cu 1,89% – CuO	2245,45±0,55 метров	20° С
3	Печатный проводник	24% – Cu 75% – Ag	15,9±0,5 миллиметров	317±0,1° К

В среде распространения сигнал подвергается воздействию помех, что уменьшает его информационную составляющую. Это воздействие может происходить различно. Выделяют аддитивные и мультипликативные помехи. Воздействие последних приводит к таким изменениям сигнала, которые, в отличие от аддитивных помех, нельзя представить в виде простой суперпозиции сигнала и помехи [3].

Один из способов моделирования канала связи построен на принципе, что один параметр будет имеет наибольшее влияние на форму и параметры РС, а остальные параметры канала связи только

вносят возмущения в области их воздействия, границы которой задаются чувствительностью измерительных приборов. В данном случае удобно будет ввести термин «объект возмущения» - это математическое представление материального объекта или физического явления, которое изменяет согласно своим свойствам определённую область идеализированной математической модели.

Например, пусть существует канал связи с одним передатчиком, приемником и воздушным пространством как средой распространения РС. Для создания модели этого канала связи достаточно знать координаты передатчика и приемника, мощность сигнала в первоначальный момент времени, и чувствительность приемника. Зная это можно, используя уравнения Максвелла[4], вычислить различные параметры электромагнитной волны (ЭМВ) в нужной точке. Затем поместим между приемным и передающим РУ физический объект способный отражать ЭМВ. Этот отражатель, будет выступать в роли «объекта возмущения». Теперь модель канала связи стала значительно сложней, «объект возмущений» после попадания на него ЭМВ станет ее отражать с измененными параметрами. Задав границы области возмущения можно сказать когда, на входе приемника должна быть сумма двух сигналов, а когда достаточно только одного.

Имея программно-реализованные генераторы шума (ГШ), имитирующие помехи естественного или антропогенного характера, возможно, использовать параметры «объектов возмущения» для их настройки. ГШ, добавленные к модели канала связи в роли имитаторов результирующей помехи или помех, затем будут использоваться для создания общего уровня шумовой помехи [3] в канале связи.

При моделировании каналов связи количество «объектов возмущений» будет определять достоверность модели. При работе на ЭВМ, обработка однотипных, но объемных массивов данных приводит к замедлению работы и потере эффективности. Для ускорения работы программы, массивы данных «объектов возмущений» можно объединить в многомерные массивы. Используя специализированные программы параллельной обработки данных выполняется корреляция многомерных массивов параметров «объектов возмущений» для создания итогового массива данных. В нем информация о возмущениях в среде распространения примет вид одного многомерного «объекта возмущения», чье влияние будет псевдослучайным образом влиять на сигнал. В дальнейшем будет достаточно добавить в модель канала связи параметры приемного и передающего РУ чтобы получить возможность изучать параметры сигналов [5].

В целом, работа с многомерными массивами в программе MATLAB демонстрирует их положительные стороны, облегчая работу с большим количеством однотипной информации. Недостатком их применения является резервирование памяти ЭВМ под незаполненные еще ячейки. В MATLAB это не имеет особо большого значения так, как все числа записаны в памяти в формате двойной точности (2^{16}=65536 бит). Однако, при работе с многомерными массивами данных на других программных средах это необходимо учитывать.

Входе работ по созданию обобщенной модели канала связи, были рассчитаны параметры для целого ряда сред распространения сигналов, при условии, что основным параметром моделей будет выбран коэффициент затухания ЭМВ. В программе MATLAB был создан программный модуль на внутреннем интерфейсе программирования. Основой для обобщенной модели канала связи послужили три матрицы:

- матрица значений затухания сигнала в среде распространения;
- многомерная матрица (массив), каждая размерность которой имеет информацию по значениям определенного «объекта возмущения»;
- вспомогательная многомерная матрица (массив), в которой каждая размерность содержит информацию о канале связи, а так же необходимые коэффициенты для работы программы (преобразование декартовой системы в полярную, настройки отображения графиков, и т.д.).

Эти матрицы генерируются автоматически при вводе параметров среды распространения. Для построения матрицы значений затухания используется линейный размер моделируемого канала связи и шаг дискретизации для определения точности. Многомерная матрица строится с размерностью равной матрицы затухания сигнала, и нулевыми значениями в ячейках. После этого происходит генерация дополнительных матриц по числу введенных в среду распространения «объектов возмущений», каждая матрица строится без учета влияния остальных объектов.

Затем вводя параметры передающего и приемного РУ над многомерной матрицей следует произвести операции:

- исключения, заключается в удалении матриц влиянием которых можно пренебречь в данном канале связи;
- корреляции, заключается в создания итогового массива данных путем корреляция параметров «объектов возмущений».

Последний этап – это загрузка РС в модель канала связи. Программа MATLAB для работы использует аудиограммы сигналов в WAVE-формате. MATLAB считывает файл типа WAVE с именем и возвращает массив данных со значениями амплитуды в точках дискретизации, частоту дискретизации в герцах и разрядность кодирования звука в битах. Используя эти параметры создается модель РС и затем эта модель помещается в модель канала связи. В результате моделирования можно провести анализ сигнала в различных точках канала связи: в ближней зоне, в дальней зоне, на входе приемного РУ и т.д.

Создание модели радиотрассы в умеренно влажной равнине местности «объектами возмущений» были использованы параметры и их значения:

- тип поверхности (почва влажная);
- коэффициент неоднородности поверхности (0,98);
- распределение неоднородности поверхности (гауссовское);
- коэффициент проводимости пресная вода рек и озер (80 сим/м);
- коэффициент проводимости почва влажная (10 сим/м);
- коэффициент распределения высот (0,95);
- среднее квадратичное отклонение высоты (24,1 м);
- растительный покров (высотой не более 0,5 м) [6].

В случае данной модели канала связи был сформирован многомерный массив коэффициентов отклонения для затухания ЭМВ с учетом длинны волны РС и направлением главного лепестка диаграммы направленности передающего РУ.

При наличии четко выраженной направленности излучения в диаграмме различают главный, задний и боковые лепестки. Главным лепестком диаграммы направленности является тот, в пределах которого излучение антенны максимально. Лепесток диаграммы направленности, направление которого образует по отношению к направлению главного лепестка угол равный или близкий 180°, называется задним. Боковым лепестком диаграммы направленности является любой лепесток кроме главного и заднего [7].

Параметры передающего РУ:

- высота антенны (100 м);
- длина несущей волны (44,5 мм);
- ширина главного лепестка диаграммы направленности (100±10°);
- ширина побочных лепестков диаграммы направленности (30±1°);
- мощность передатчика (1 кВт).

Параметры приемного РУ:

- высота антенны (70 м);
- чувствительность передатчика (0,15 В).

Часто при изображении диаграмм направленности в декартовой системе координат используют логарифмический масштаб (в децибелах). Логарифмический масштаб позволяет существенно повысить наглядность изображения боковых лепестков с малым уровнем [8].

Полученная модель канала связи с передающим РУ показала, что затухание РС в ближней зоне по направлению главного лепестка диаграммы направленности не превышает 5 дБ, со среднеквадратическим отклонением в 0,75 дБ, а в дальней зоне не превышает 8 дБ, со среднеквадратическим отклонением в 0,9 дБ.

В направлении противоположном главному лепестку диаграммы направленности уровень затухания в ближней зоне опустился до 7 дБ, а в дальней зоне до 15 дБ. Значение среднеквадратического отклонения для обеих зон составило приблизительно 1,4 дБ.

Боковые лепестки диаграммы направленности в данной модели КС имеют уровень затухания не превышающий 7 дБ в ближней зоне, и 9 дБ в дальней.

Заключение

Проведен анализ различных моделей каналов связи, с целью построения обобщенной модели, в ходе которого была решена задача оценки точности модели и ее полноты. Целью данной работы была обобщенная модель канала связи. Для ее построения был придуман метод построения моделей каналов связи с использованием «объектов возмущений». Это позволило отделить параметры имеющие значения для точности от параметров которыми можно пренебречь. В свою очередь данное разделение позволило проводить операции над многомерными массивами данных раздельно, что значительно улучшило точность построения модели и уменьшило общее число операции моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекаревич, Ю. Microsoft Access 2007 [Текст]. - М.: BHV, 2012.- 720 с.- ISBN 978-5-9775-0097-5.

2. Голенищев, Э.П. Информационное обеспечение систем управления [Текст]. - Ростов, н/Д: «Феникс», 2013. - 364 с.- ISBN 978-5-222-17051-9.

3. Монаков, А. А. Основы математического моделирования радиотехнических систем: учеб. Пособие [Текст] - А. А. Монаков - СПб.: ГУАП, 2005. - 100 с.: ил.

4. Канаков, В.А. Клюев В.Ф., Орлов И.Я. Приемно-предающие устройства в системах телекоммуникаций. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации [Текст]. - В.А. Канаков, В.Ф. Клюев, И.Я. Орлов - Нижний Новгород: ФАО НГУ им. Н.И. Лобачевского, 2007. - 95 с.

5. Козлов, В.В. Моделирование воздействия влияющих факторов на сигнал в виртуальных измерительных приборах [Текст] - В.В. Козлов, О.В. Потапов - ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» 2019 г., С. 275-178

6. Долуханов, М.П. Распространение радиоволн. Издание четвертое [Текст]. - М.: «Связь», 1972. - 336 с.

7. Чирков, О.Н. Помехоустойчивый алгоритм декодирования ортогональных пространственно-временных блочных кодов систем MIMO в замирающих каналах радиосвязи [Текст] - О.Н. Чирков, И.С. Бобылкин, И.В. Свиридова, А.А. Матвеев, М.И Соболев - ФГБОУ ВО «Воронежский Государственный технический университет» - 2019 г. - С. 90-92.

8. Кубанов, В.П. Антенны и фидеры — назначение и параметры [Текст]. — Самара: ПГУТИ, 2012. - 60 с., ил.

УДК 621.396.96

Башкиров А.В., Семенова П.С., Турецкий А.В., Худяков Ю.В.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ АНТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Надежность радиоэлектронных конструкций, как и долговечность неотделимы друг от друга, поэтому очень важно на этапе проектирования обеспечить нужный запас прочности. Кроме того, в процессе проектирования необходимо на как можно более ранних стадиях проработки конструкции выявить недостатки и возможные места поломок.

В статье рассматриваются основные конструктивные особенности антенн, применяемых на автомобильных носителях с креплением на магнитное основание. Для ускорения процесса проектирования часто используется способ моделирования механических характеристик конструкций РЭС с применением программных продуктов CAE анализа. Одним из таких продуктов, широко применяющихся в радиоэлектронной промышленности, является Creo Parametric, а именно его специализированный модуль Creo Parametric Mechanica, который позволяет выявить области конструкций с повышенными механическими нагрузками. Предложена методика проектирования антенных конструкций с использованием Creo Parametric, позволяющая значительно ускорить процесс проектирования и обеспечить надежность при эксплуатации, заданную требованиями технического задания.

Ключевые слова:

АВТОМОБИЛЬНЫЕ АНТЕННЫ, НАГРУЗКА, МЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Введение.

Рассмотрим подробнее конструктивные особенности автомобильных антенн на магнитном основании. Магнитное основание позволяет легко установить антенну на крышу автомобиля, возможны также варианты крепление на торец кузова. Такой способ крепления не требует, каких-либо внесений изменений в конструкцию транспортного средства, не портит лакокрасочное покрытие и обеспечивает быстрый монтаж и демонтаж антенны. В тоже время магнитное основание (рисунок 1) должно быть защищено от коррозии и должно обеспечивать надежность фиксации всей конструкции во всем диапазоне действующих нагрузок и вибраций в процессе эксплуатации.

Для предотвращения царапин на поверхности от магнитного основания на магнит приклеивается защитная резиновая прокладка или ткань [1]. Правильный расчет конструкции магнитного основания позволяет использовать антенну на скорости до 110км/ч. При необходимости можно увеличить мощность магнитов основания.

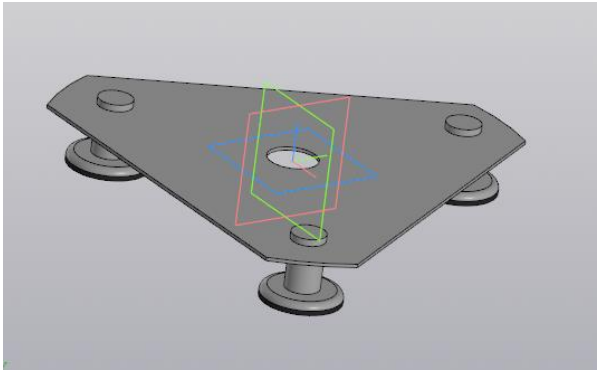


Рисунок 1 - Магнитное основание

На рисунке 1 изображено магнитное основание с крепление на кузов с помощью трех магнитов, каждый магнит защищен резиновой накладкой, что позволяет его защитить от коррозии (Рисунок 2). Самыми нагруженными элементами магнитного основания являются места закрепления магнитных ножек [2].

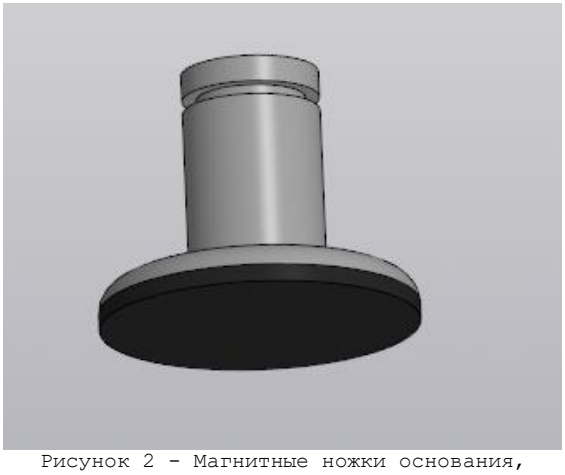


Рисунок 2 - Магнитные ножки основания, защищенные резиновыми накладками

Излучатель крепиться на антенну с помощью разъёмов для коаксиальных кабелей, данный узел тоже является нагруженным местом в конструкции (Рисунок 3, а).

Штырь может изготавливаться из стального стержня и обязательно должен иметь защитное покрытие. Вид покрытия может быть различным. Применяют как гальванические покрытия, так и опрессовку резиной или пластмассой.

Корпус аттенюатора изготавливается из разных материалов, это может быть пластик, или металл самое главное, чтобы он отвечал эксплуатационным характеристикам.

Для снижения нагрузок с остальных элементов, часто для автомобильных антенн применяются, пружины (рисунок 3, б). Они снимают часть колебаний и не позволяют конструкции входить в резонанс. Пружины изготавливаться из специальных пружинных стальных проволок (ГОСТ 9389-75). Так же нужно не забывать, что блок пружинный требует защиты от коррозии для этого можно покрыть сталь гальваническим никелевым покрытием или сразу выбрать проволоку из нержавеющих металлов.

а) б)

а) антенна с излучателем на магнитном основании;

б) антенна с пружинным блоком

Рисунок 3 - Конструктивные варианты автомобильных антенн

Основная часть. Для оценки прочностных свойств конструкций автомобильных антенн могут использоваться математические модели, применяемые для аналитического расчета.

Испытание на прочность или устойчивость к синусоидальной вибрации является одним из самых распространенных механических испытаний для антенн [3, 4]. Зависимость перемещения платформы вибростенда с закрепленной на ней антенной конструкцией от времени выражается формулой

$$S_0 = -S_{0a} \sin 2\pi f t \quad (1)$$

где S_0 и S_{0a} - мгновенное значение и амплитуда перемещения платформы стенда, м,

$f = \frac{1}{T}$ - частота вибрации, Гц,

T - период вибрации, с.

t - время, с.

Зависимость ускорения платформы вибростенда при таком движении описывается формулой

$$a_0 = a_{0a} \sin 2\pi f t \quad (2)$$

где a_0 и a_{0a} - мгновенное значение и амплитуда ускорения платформы стенда, м/с2.

На практике перемещение обычно измеряется в мм, а ускорение - в долях ускорения свободного падения. Связь амплитуды ускорения, амплитуды перемещения и частоты в этом случае имеет вид

$$G = \frac{a_{0a}}{g} = 0{,}004 f^2 X_0 \quad (3)$$

где $g \approx 10$ *м/с2* - ускорение свободного падения,

G - амплитуда ускорения платформы стенда, g,

X_0 - амплитуда перемещения платформы стенда, мм.

Максимальная нагрузка на несущую деталь является суммой статической нагрузки, равной весу антенны, и амплитуды вибрационной нагрузки

$$P_{max} = mg + \mu_1 m a_{0a} \quad (4)$$

Амплитуды перемещений точки зависят от амплитуды перемещения платформы вибростенда и частотного отношения $\eta = \frac{f}{f_0}$, где f_0 - собственная частота колебаний системы «несущая деталь - антенна». Эта зависимость выражается формулами:

относительно точки В

$$\Delta_a = \mu_2 S_{0a} \quad (5)$$

относительно точки А

$$S_a = \mu_3 S_{0a} \quad (6)$$

Коэффициенты динамичности μ_1, μ_2, μ_3 определяются по формулам

$$\mu_1 = \frac{1}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + \frac{\eta^2}{Q^2}}};\ \mu_2 = \frac{\eta^2}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + \frac{\eta^2}{Q^2}}};\ \mu_3 = \frac{\sqrt{1+\frac{\eta^2}{Q^2}}}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + \frac{\eta^2}{Q^2}}} \quad (7)$$

где Q - добротность механической системы.

Частота перехода: Частота вибрации, определяемая по формуле

$$f_п = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{a_{0a}}{S_{0a}}} \quad (8)$$

где $f_п$ - частота перехода,

a_{0a} - амплитуда ускорения для частоты выше частоты перехода,

S_{0a} - амплитуда перемещения для частоты ниже частоты перехода.

Аналитический расчет применим только для относительно простых конструкций так как занимают много времени у конструктора, так же они не применимы совместно с 3D моделями конструкций, позволяющих наглядно показать участки с критической нагрузкой. Поэтому использование метода конечных элементов, как наиболее универсального, более практично и позволяет быстрее и легче рассчитать механические нагрузки без наличия опытного образца.

Средства Creo часто используются для определения механических характеристик конструкций РЭС разных уровней иерархии. В работе [5,6] представлена методика проектирования радиоэлектронных модулей первого уровня (платы), а в [7] модулей третьего уровня (шкафы, пульты, стойки).

Для проектирования антенных конструкций автомобильного базирования предлагается методика позволяющая значительно сократить количество доработок.

Методика представлена в виде алгоритма оптимального проектирования антенных конструкций путем исследования механических характеристик (рисунок 4). Сущность предлагаемой методики заключается в том, что заранее производят исследование механических характеристик тестовых образцов конструкции антенн (кронштейнов, скоб, стержней и т.д.), изготовленных из различных материалов с применением разных технологий обработки. Затем создается база данных конструктивных решений, которой руководствуются при проведении моделирования у последующих конструкций. Таким образом, результаты испытаний, проходящие с тестовыми образцами, являются критерием оценки надежности антенн на механические воздействия.

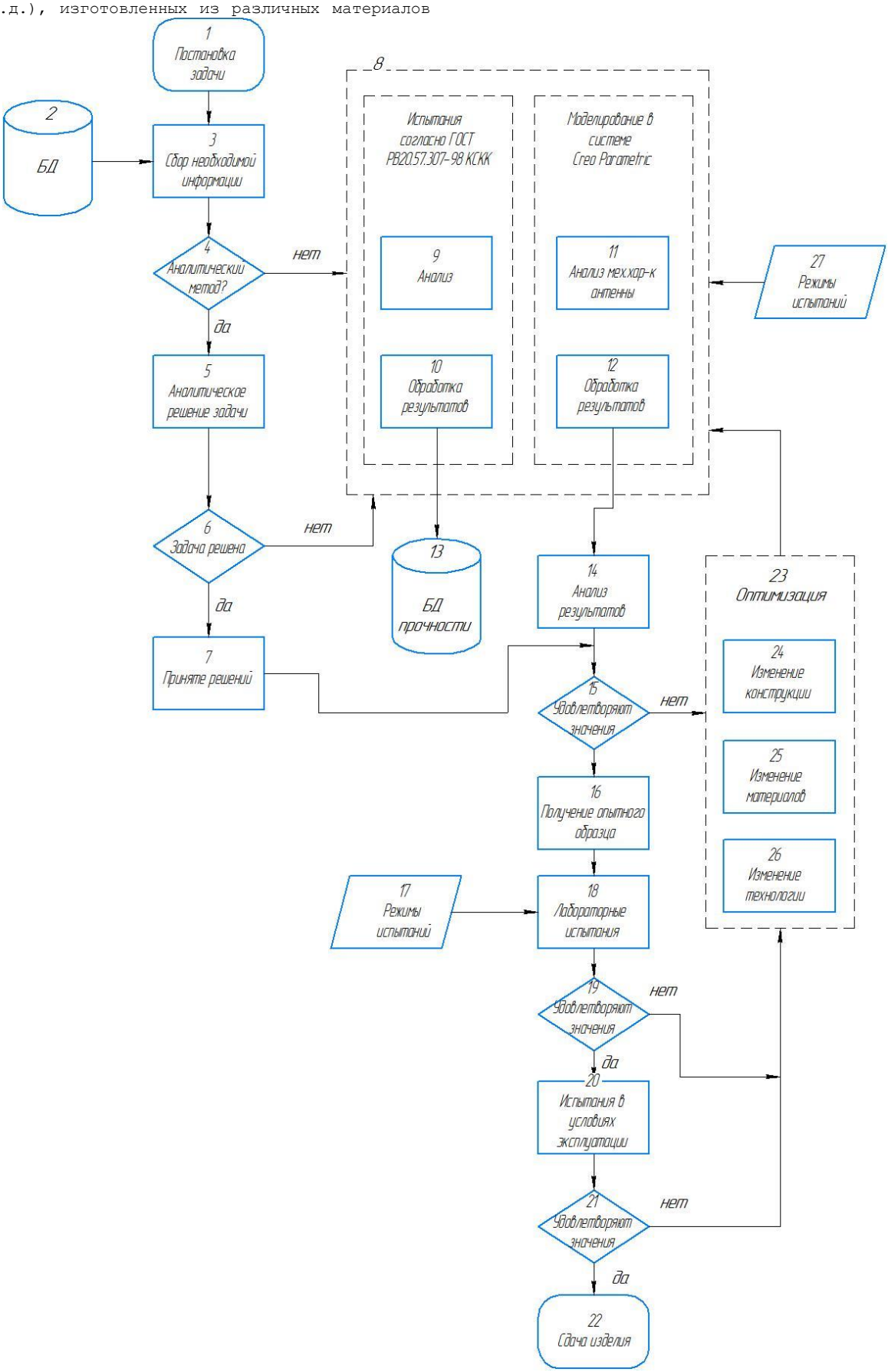


Рисунок 4 - Алгоритм комплексного анализа механических характеристик антенных конструкции

Лабораторные испытания тестовых образцов подбираются согласно ГОСТ РВ20.39.304-98. Указанный документ, дает возможность подобрать испытания в зависимости от класса аппаратуры, от назначения и места установки на объект. По полученным данным проведения испытаний на воздействия механических факторов применяется ГОСТ РВ20.57.305-98 КСКК. Методика для проведения климатических испытаний описана в ГОСТ РВ20.57.307-98 КСКК. Указанные методики предусматривают комплекс испытаний внешних воздействующих факторов. Для ускоренного проведения испытаний в ГОСТ предусмотрены определенные методики. Так для ускорения испытаний на климатические воздействия повышается влажность, температура и концентрация вещества в среде которого происходят испытания, все необходимые закономерности указаны в приложении к ГОСТ РВ20.57.307-98 КСКК.

В блоке №1 ставятся условия по техническому заданию, выбираются механические воздействия, которым буде подвержена конструкция в процессе эксплуатации. Для этого устанавливается класс аппаратуры и место установки. Подбирается так же климатическое исполнение.

В блоке №3 собирается необходимая информация о конструкции антенны, материалах для проведения анализа на механическую надежность. Определяются нагрузки испытываемой конструкции как целиком, так и каждого узла отдельно, во внимание берутся материалы изготовляемых деталей. После чего находятся уязвимые места, которые вследствие нужно будет доработать.

Сведения о механических характеристиках и свойствах материала находятся в базе данных (блок №2). База постоянно актуализируется и сведения из нее поступают для дальнейшего проектирования.

Для выбора алгоритма, по которому пойдет процесс проектирования необходимо определить конфигурацию конструкции. Конструкция антенны, может быть простой и тогда достаточно аналитического метода. Если же сложная конструкция, применяется метод CAE анализа.

Для решения задачи аналитически способом применяться математические модели (блок № 5). В этом случае производят численное решение математических моделей с определением частоты колебаний антенны, предельных значений вибрации. Такой способ дает наибольшую точность, однако применим только к некоторым, простым конструкциям

Решение полученные аналитическим способом подвергаются проверке в блоке №6. По результатам проверки выбирается дальнейший путь проектирования.

В случае невозможности применения аналитического метода используется метод конечных элементов, как наиболее распространенный для инженерного анализа. Процедуры тестовых испытаний по ГОСТ РВ20.39.304-98 содержаться в блоке №8. Для данного метода необходима 3D модель антенной конструкции. Задаются требуемые параметры модели, для всех деталей конструкции. Выполняется одно из видов моделирования. В данном программном продукте возможно провести статический, модальный и динамический анализы. Результаты исследований могут отображаться в виде графиков и диаграмм, параметры которых задаются пользователем (блок №12). Модель с помощью программного продукта CAE анализа, в нашем случае Creo Parametric, разбивается на элементы. Затем составляется и решается система линейных уравнений, результаты визуализируются (блок № 11).

Результаты обрабатываться (блок №10) и заносятся в базу данных для дальнейшего их использования, для проектирования типовых антенных конструкций (блок № 13). Используя данную библиотеку, можно проверить результаты полученные в процессе проведения инженерного анализа (блок №14).

Если конструкция не прошла по каким-то из критериев, заложенных в техническом задании механической надежности, то конструкция антенны отправляется на доработку (блок №23).

В блоке принимается выбор из трех направлений оптимизации конструкции:

блок № 24 изменение конструктивных элементов:

блок № 25 замена материалов;

блок № 26 изменение технологии.

После проведения конструкторских работ, цикл испытаний повторяется. Режимы подбираются исходя из конфигурации конструкции антенны и места крепления (блок № 27).

После завершения всех этапов проектирования, и создания модели, удовлетворяющей всем критериям по техническому заданию, документация отправляться на производство (блок № 15) для создание опытного образца антенной конструкции (блок № 16). Теперь образец должен пройти типовые испытания в реальных условиях (блок № 18). Для этого устройство устанавливается на вибростенд, задаются режимы испытаний согласно ГОСТ РВ20.57.305-98 КСКК.

Если опытный образец антенны не проходит испытания, то он отправляется на модернизацию, и весь цикл типовых испытаний повторяется.

После успешного прохождения испытаний на механические воздействия, антенну помещают на климатические испытания (блок № 20). Использовать методику испытания по ГОСТ РВ20.57.307-98 КСКК в соответствии с климатическим исполнением антенны. По завершению следует еще один контроль качества, где проверяют соответствие антенны по требованиям технического задания (блоке № 21).

Последним этапом является сдача готовой документации (блок №22).

Предложенная методика позволяет усовершенствовать проектирование антенн, исключая ошибки в изготовлении опытных образцов и тем самым сокращая время и денежные затраты на проектирование. В случае, если моделирование показывает что нагрузки являются предельными для прочности материалов конструкций, детали отправляется на доработку пока результаты не будут приемлемыми.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савицкий, Г.А. Расчет антенных сооружений (Физические основы) [Текст] / Савицкий Г.А – М. : Связь, 1978. - 152 с. : ил.

2. Савицкий, Г.А. Антенные устройства [Текст] / Г. А. Савицкий. - М. : Связь, 1961. - 480 с. : ил.

3. Диняева, Н.С. Конструирование механизмов антенн: Учебное пособие. [Текст] / Н.С. Диняева – М.: МАИ, 2002. – 340 с.

4. Савицкий, Г. А. Основы проектирования антенных конструкций [Текст] / Г. А. Савицкий. - М. : Связь, 1973. - 113 с. : ил. - 0.36 р.

5. Макаров О.Ю., Турецкий А.В., Ципина Н.В., Шуваев В.А. Комплексное моделирование и оптимизация характеристик в процессе конструкторского проектирования радиоэлектронных средств Вестник Воронежского государственного технического университета. 2015. Т. 11. № 6. С. 100-104.

6. Аль-Араджи З.Х.М., Муратов А.В.,Турецкий А.В., Худяков Ю.В.Моделирование механических характеристик многослойных печатных плат средствами CAE анализаТруды международного симпозиума Надежность и качество. г. Пенза 2018. Т. 1. С. 224-227.

7. Белецкая С.Ю., Иевлев П.В., Муратов А.В., Тураева Т.Л. Турецкий А.В. , Худяков Ю.В. Средства инженерного анализа конструкций радиоэлектронных модулей третьего уровня Труды международного симпозиума Надежность и качество. г. Пенза 2017. Т. 2. С. 82-85.

УДК 004.94: 621.3

Гришко А.К., Андреев П.Г., Тумакова И.А., Мокшанцева А.В., Моисеев А.В., Пакайкин А.А.
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАДИОСВЯЗИ

В статье дается оценка современному состоянию и перспективам развития систем радиосвязи. Проанализированы особенности распространения радиоволн в различных диапазонах и множественные факторы, влияющие на это, а также сложность процессов, происходящих как в отдельных элементах радиоаппаратуры, так и крупных блоках и комплексах. Отмечено, что оценка помехоустойчивости радиолиний теоретическими методами крайне затруднена и обычно дает лишь приближенные результаты в виде верхней или нижних границ, и, поэтому, предлагается для решения этих задач широкое применение методов имитационного моделирования. Имитационная модель позволяет вводить и редактировать все свои параметры, задавать определенные условия использования радиосвязи, а также отображать результаты вычислений соответствующих характеристик. С ее помощью можно моделировать действие естественных и преднамеренных помех и оценивать помехоустойчивости исследуемого сигнала. Сравнение известных теоретических и полученных с помощью имитационной модели экспериментальных результатов подтверждают адекватность имитационной модели.

Ключевые слова:
РАДИОСВЯЗЬ, ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ, ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ

В век технического прогресса и инноваций радиосвязь остается одним из основных видов связи. Благодаря же успехам в области совершенствования средств вычислительной техники в сторону кардинального повышения производительности работы центральных процессоров и возможности распараллеливания вычислений, а также дальнейшего развития алгоритмической базы появилась возможности моделирования сложных процессов, происходящих не только в отдельных элементах радиоэлектронной аппаратуры, но также в крупных блоках и комплексах [1-3]. Для этого разрабатываются имитационные модели для оценки устойчивости радиосвязи, в которых наглядно можно проследить прохождение радиосигнала и оценить устойчивость связи и воздействие на нее естественных или преднамеренных помех.

Особенностями распространения радиоволн в радиолиниях коротковолновой (КВ) радиосвязи является наличие замираний сигнала. Оценка помехоустойчивости КВ радиолиний теоретическими методами крайне затруднена, в том числе и из-за непостоянства условий распространения радиоволн. При этом теоретические оценки помехоустойчивости любых радиолиний обычно дают лишь приближенные результаты в виде верхней или нижних границ. Теоретический анализ затрудняется также и тем, что на практике для повышения помехозащищенности КВ радиолиний используют различные сигнально-кодовые конструкции (СКК).

Наилучшие СКК (сочетание методов модуляции и методов помехоустойчивого кодирования (ПК)) рекомендованы к использованию стандартами США и НАТО.

В этих стандартах наиболее перспективными для КВ радиосвязи считаются сигналы с фазовой модуляцией (ФМ), квадратурной фазовой модуляцией (КФМ) и квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ) с основанием кода a = 2,4,8,16,32,64.

Кроме того, в существующих системах КВ радиосвязи также используются сигналы с амплитудной модуляцией (АМ), частотной модуляцией (ЧМ) и относительной фазовой модуляцией (ОФМ).

Совместно с указанными методами модуляции рекомендуется использовать помехоустойчивые циклические коды, сверточные коды, каскадные коды (Рида-Соломона плюс сверточный код), турбокоды и перемежение символов.

Особенностью кодов Рида-Соломона является их способность эффективно устранять пакеты ошибок, возникающих вследствие кратковременных возмущений естественного происхождения (солнечная активность, прохождение радиосигнала через ионизированные слои атмосферы) в среде распространения радиосигналов. Это свойство является особенно ценным при устранении ошибок после свёрточного декодирования в каскадных кодах [4-6].

Имитационная модель предназначена для оценки эффективности различных СКК и обеспечивает определение значений показателя удельного расхода энергии на передачу одного бита информации, а также с ее помощью можно оценить действие естественных и преднамеренных помех. С помощью имитационной модели может быть проведена оценка помехоустойчивости исследуемого сигнала [7-9].

В имитационной модели моделируется канал связи с аддитивным НБШ. Кроме этого, замирания моделируются путем введения пакетов ошибок в канале связи.

В состав имитационной модели входят: источник сообщений, помехоустойчивые кодеры и декодеры, модуляторы и демодуляторы, канал связи и устройство оценки вероятности ошибок.

Сравнение известных теоретических и полученных с помощью имитационной модели экспериментальных результатов подтверждают адекватность имитационной модели [10-12].

Используя имитационную модель можно вводить и редактировать все параметры модели, задавать определенные условия использования радиосвязи, а также отображать результаты вычислений соответствующих характеристик.

Возможно задавать параметры передающего устройства. Среди них: центральная частота (ГГц), скорость передачи (Мбит/с), диаметр антенны (м), коэффициент использования площади антенны, угол отклонения диаграммы направленности от линии визирования (град), мощность излучения (Вт), вид 3 модуляции. Ввод параметров осуществляется, последовательно, начиная с первого, а их дальнейшее редактирование возможно в произвольном порядке. При этом осуществляется проверка на допустимость введенного значения, для чего ввод необходимо подтвердить. Расчет и вывод полученных результатов осуществляются автоматически по мере задания требуемых параметров.

В случае недопустимого значения выводится предупреждающее сообщение. Выходные характеристики: коэффициент усиления антенны в максимуме диаграммы направленности (дБ), отношение сигнала к шуму Eb/N0 (дБ), вероятность ошибки. При вводе вида модуляции предлагается сделать выбор из четырех вариантов: бинарная частотная - BFSK, бинарная фазовая - BPSK, квадратурная частотная - QFSK, квадратурная фазовая – QPSK.

Дополнительные параметры: канальное кодирование, учет влияния преднамеренных помех. Для доступа к настройкам дополнительных параметров используются соответствующие переключатели, выдающие результат «включен/выключен». При этом предполагается, что эти параметры взаимно исключают друг друга, и по этой причине их одновременное использование невозможно.

Возможность учета влияния преднамеренных помех ограничена двоичными видами модуляции (BFSK, BPSK), для других видов данный пункт становится недоступным. На решение выполнить «Учет влияния преднамеренных помех», необходимо осуществить выбор между: широкополосный шум, узкополосный шум (для BFSK) и широкополосный шум, импульсные помехи (для BPSK). После выбора вида помехи нужно осуществить ввод дополнительных параметров: для случая широкополосного шума – мощность полученных помех, дБ и коэффициент расширения спектра сигнала; для случая узкополосного шума и импульсных помех – коэффициент превышения помехи над шумом и коэффициент полосы помехи [13, 14]. После ввода требуемых параметров производится автоматический пересчет вероятности битовой ошибки, а результирующее значение отображается в поле вывода «Вероятность ошибки».

В случае отмены какого-либо из дополнительных параметров происходит автоматический возврат к основным параметрам с обновлением поля вывода

«Вероятность ошибки». Дополнительный параметр длина коррелированной последовательности отвечает за группу пикселей, на которые распространяется текущее значение цвета ошибочного пикселя и не влияет на предшествующие расчеты, а только вносит соответствующие изменения в изображение.

Закончив расчеты, появляется возможность построения графика зависимости Eb/N0 от наклонной дальности.

Точно также возможно ввести параметры: высота приемной антенны (м), высота неровностей поверхности (м), тип поляризации волны, потери 5 атмосферные (дБ), дополнительные потери (дБ), шумовая температура (К), диаметр антенны приемника (м), коэффициент использования площади антенны, угол отклонения диаграммы направленности от линии визирования (град). Выходные характеристики: потери интерференционные (дБ), максимальный коэффициент усиления (дБ), мощность сигнала (дБм). Допустимые значения пункта «тип поляризации волны»: вертикальная, горизонтальная. В данном случае предполагается, что ввод параметров происходит автоматически после следующих возможных действий: после ввода значения в поле «Центральная несущая, ГГц» или после выбора типа передающего устройства.

Пользователю предоставляется лишь возможность последующего их редактирования, при этом не осуществляется какой-либо проверки на правильность введенных значений (разрешается использование только числовых значений, а в качестве разделителя применяется запятая): 1) центральная частота, 2) скорость передачи, 3) диаметр антенны, 4) коэффициент использования площади антенны, 5) угол отклонения диаграммы направленности от линии визирования, 6) мощность передатчика, 7) вид модуляции (допустимые значения: «0» – BFSK, «1» – BPSK, «2» – QFSK, «3» – QPSK), 8) канальное кодирование (коды Хемминга: «0» – кодирование отсутствует, «1» – (7,4), «2» – (15,11), «3» – (31,26).

Таким образом, реализован вариант, предусматривающий минимизацию вводимых данных, за исключением параметра «учет влияния преднамеренных помех».

Специальных ограничений на размеры не предъявляется (но при этом предполагается, что для лучшей визуализации «объем изображения» по возможности должен превышать величину обратно пропорциональную вероятности ошибки).

Параметры моделируемой системы управляются с помощью определенного меню, позволяющего изменять тип модуляции сигнала, выбирать вид помехоустойчивого кодирования, задавать значения несущей частоты радиосигнала, мощность передатчика, расстояние между объектами связи, угловую точность взаимного наведения антенн приемника и передатчика и их коэффициенты усиления, и ряд других. Имеется возможность учета влияния преднамеренных помех в виде широкополосного и узкополосного шума.

Разработка данных программ имеет огромное значение в сфере применения радиосвязи. Такие программы введены в промышленную эксплуатацию и является частью комплекса имитационного моделирования систем дистанционного зондирования объектов. Указанные возможности и пользовательские особенности программы делают ее полезны м инструментом при системотехническом проектировании мобильных комплексов связи и управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришко А. К. Классификация естественных радиопомех и основные методы борьбы с ними / А. К. Гришко, И. А. Тумакова, П. Г. Андреев, А. В. Мокшанцева, А. А. Пакайкин // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2019. – Т. 2. – С. 283-287.

2. Гришко А. К. Выбор оптимальной стратегии управления надежностью и риском на этапах жизненного цикла сложной системы / А. К. Гришко // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 2 (18). – С. 26-31. DOI: 10.21685/2307-4205-2017-2-4.

3. Andreev P. G., Yakimov A. N., Yurkov N. K., Kochegarov I. I., Grishko A. K. Methods of Calculating the Strength of Electric Component of Electromagnetic Field in Difficult Conditions. 2016 12th International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE). Saratov, Russia, September 22-23, 2016, Vol. 1. P. 1-7. DOI: 10.1109/APEDE.2016.7878895

4. Гришко А. К. Синтез тестовых образов для оценки стойкости нейросетевых преобразователей в системах биометрической идентификации / А. К. Гришко, В. С. Лукин, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 2 (18). – С. 32-40. DOI: 10.21685/2307-4205-2017-2-5.

5. Андреев П. Г. Определение напряженности электрической составляющей электромагнитного поля с учетом отражений / П. Г. Андреев, А. К. Гришко, И. И. Кочегаров // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 2 (20). – С. 48-54

6. Гришко А. К. Методика оценки интенсивности интерференции в радиоэлектронных системах на основе геоинформационного подхода / А. К. Гришко // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 1 (19). – С. 45-49.

7. Роганов В. Р. Три подхода к оценке работоспособности систем активного резервирования / В. Р. Роганов, А. К. Гришко, И. И. Кочегаров // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 2 (26). – С. 9-18. DOI: 10.21685/2307-4205-2019-2-2.

8. Гришко А. К. Управление электромагнитной устойчивостью радиоэлектронных систем на основе вероятностного анализа динамики информационного конфликта / А. К. Гришко, А. С. Жумабаева, Н. К. Юрков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 66-75.

9. Grishko A., Goryachev N., Yurkov N. Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems. International Journal of Applied Engineering Research. Volume 10, Number 23 (2015), pp. 43842-43845.

10. Grishko A. K., Kochegarov I. I., Goryachev N. V. Multi-criteria Optimization of the Structure of Radio-electronic System in Indeterminate Conditions. 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Saint Petersburg, Russia, May 24-26, 2017, pp. 210 – 212. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970540.

11. Гришко А. К. Структурная оптимизация проектных решений в условиях многокритериальности и неопределенности / А. К. Гришко, Д. И. Нефедьев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2019. – Т. 2. – С. 319-322.

12. Grishko A., Yurkov N., Goryachev N. Reliability Analysis of Complex Systems Based on the Probability Dynamics of Subsystem Failures and Deviation of Parameters. 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). Polyana, Svalyava, (Zakarpattya), Ukraine, February 21 - 25, 2017, pp. 179-182. DOI: 10.1109/CADSM.2017.7916109.

13. Grishko, A., Adnreev, P., Goryachev, N., Trusov, V., Danilova, E. Reliability control of complex systems at different stages of their life cycle. 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2018; Yekaterinburg; Russian Federation; 7-8 May 2018. Pages 220-223. DOI: 10.1109/USBEREIT.2018.8384589

УДК 62-501/-502

Старостин И.Е., Халютин С.П.

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации», Москва, Россия

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА В РЕЖИМЕ РАЗРЯДА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

Проводится на основе уравнений физико-химических процессов (полученных потенциально-потоковым методом) в литий-ионном аккумуляторе анализ связи кривой разрядного постоянным током напряжения с разрядными постоянными токами 0.2C, 1.0C, 3.0C кривыми напряжений. На основе этого анализа строится модель разряда постоянным током напряжения литий-ионных аккумуляторов, базирующаяся на экспериментально снятых разрядных кривых напряжения литий-ионных аккумуляторах при токах разряда 0.2C, 1.0C, 3.0C. Учитывая, что различные экземпляры одной и той же модели литий-ионных аккумуляторов различные, то и разрядные кривые напряжения этих аккумуляторов будут различными. Таким образом, получаемые в настоящей работе математические модели разрядного постоянным током напряжения литий-ионного аккумулятора индивидуальны для каждого экземпляра литий-ионного аккумулятора – эти модели учитывают свойства конкретного экземпляра литий-ионного аккумулятора. Аналогично тому, как в настоящей статье были получены (путем анализа физико-химических процессов) вышеупомянутые модели для разрядного напряжения литий-ионных аккумуляторов, можно получить математическую модель для критериев работоспособности этих аккумуляторов, для температуры, а также аналогичные модели для других режимов работы этих аккумуляторов. Эти полученные частные модели для разных режимов работы литий-ионных аккумуляторов затем могут быть объединены в общую модель этих литий-ионных аккумуляторов.

Ключевые слова:

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПОТЕНЦИАЛЬНО-ПОТОКОВЫЙ МЕТОД, ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ И ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Введение

Основная проблема эксплуатации литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), имеющих высокие удельные характеристики, заключается в возникновении и развитии теплового разгона этих аккумуляторов при перезарядке и разрушении положительного электрода при переразрядке. Тепловой разгон ЛИА может привести к воспламенению и соответственно к возникновению пожара на борту летательного аппарата. Разрушение положительного электрода ЛИА приводит к снижению зарядовой емкости ЛИА. Отсюда возникает необходимость предотвращать возникновение теплового разгона и разрушения положительного электрода. Это приводит к задаче диагностики и прогнозирования технического состояния ЛИА и к корректировке режима работы этих аккумуляторов в зависимости от их технического состояния (управления ЛИА в батарее). [1, 2]

С целью разработки алгоритма диагностики технического состояния ЛИА ранее авторами была получена в работе [3] система уравнений физико-химических процессов (ФХП) в ЛИА. Эта система была получена на основе ранее разработанного авторами в рамках современной неравновесной термодинамики [4 – 8] потенциально-потокового метода [7 – 10] – единого подхода анализа и моделирования динамики физико-химических процессов (ФХП) различной природы. Также авторами были сформулированы зарядный и разрядный критерии работоспособности ЛИА [3].

Диагностические (на основе которых диагностируется техническое состояние ЛИА) и прогностические (на основе которых прогнозируется техническое состояние ЛИА) модели ЛИА получаются из этой системы уравнений ФХП в них численными методами [11 – 13] путем задания случайным образом значений неизвестных коэффициентов, входящих в эту систему уравнений ФХП, расчета соответствующих динамик этих процессов, а также соответственно динамик характеристик (выходных характеристик) ЛИА, имеющих практический смысл, и аппроксимации на этих динамиках связи этих выходных характеристик [11 – 14].

Получаемые описанным выше способом диагностические модели представляют собой связь величин, входящих в критерии работоспособности ЛИА с напряжением, током и температурой в текущий и предыдущий моменты времени [11, 13]. Прогностические же модели ЛИА представляют собой связь напряжения и температуры в последующие моменты времени с напряжением, током и температурой в текущий и предыдущие моменты времени [11, 13]. В силу сложности этих моделей рассматриваемые модели из описанных выше динамик выходных характеристик при различных коэффициентах аппроксимируются по частям: сначала модели для отдельных режимов работы, которые затем объединяются в общую модель.

В настоящей работе получается из уравнений ФХП в ЛИА математическая модель разрядного постоянным током напряжения ЛИА. Эта модель проверяется на полученных экспериментальных данных для конкретной модели ЛИА.

Основная часть

Как уже отмечалось во введении, модели ЛИА (диагностические и прогностические) строятся на множестве динамик ФХП в ЛИА, соответствующие различным значениям неизвестных коэффициентов, входящих в систему уравнений динамики ФХП в ЛИА. Как отмечалось в [3, 12], часть коэффициентов (задаваемых), входящих в систему уравнений динамики ФХП в ЛИА, являются аппроксимационными, а оставшаяся часть этих коэффициентов – задающими. Значения аппроксимационных коэффициентов в этой системе уравнений задаются чисто из соображений удобства аппроксимации свойств веществ и процессов в ЛИА соответствующими функциями состояния для этих свойств веществ и процессов [3, 12]. Выбор значений этих коэффициентов (аппроксимационных) произволен, т.к. задающими коэффициентами (путем задания их соответствующих значений) сколько угодно точно задаются функции состояния для свойств веществ и процессов. Для последующих расчетов зададим значения аппроксимационных коэффициентов, приведенные в таблицах 1 и 2.

Значения аппроксимационных коэффициентов, входящих в функциональные разложения характеристик схемы замещения электрохимических процессов в ЛИА — Таблица 1

Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение
Значения общих параметров, входящих в функциональные разложения для характеристик схемы замещения					
$\nu^{\bullet}_{Li^+}$, моль	$\frac{0.3 \cdot C_{ном}}{7}$	$\nu^{э\bullet+}_{Li^+}$, моль	$\frac{206.64 \cdot C_{ном}}{F}$	$\nu^{э\bullet-}_{Li^+}$, моль	$\frac{4006.8 \cdot C_{ном}}{F}$
Значения параметров, входящих в функциональные разложения для сопротивлений схемы замещения					
$\nu^{э+}_{\min,Li^+}$, моль	$\frac{108 \cdot C_{ном}}{F}$	$\nu^{э-}_{\min,Li^+}$, моль	$\frac{108 \cdot C_{ном}}{F}$	$\nu^{э+}_{\max,Li^+}$, моль	$\frac{7020 \cdot C_{ном}}{F}$
$\nu^{э-}_{\max,Li^+}$, моль	$\frac{6588 \cdot C_{ном}}{F}$	I^{+}_{0}, мкА	$\frac{111 \cdot C_{ном}}{7}$	I^{-}_{0}, мкА	$3 \cdot C_{ном}$
$r^{+}_{0,o}$, Ом	$\frac{2090.13}{C_{ном}}$	$r_{0,м}$, мОм	$\frac{21}{C_{ном}}$	$r^{-}_{0,o}$, Ом	$\frac{809.13}{C_{ном}}$
$\alpha^{+}_{r,T}$	8.19	$\alpha_{r,T,м}$	0.03	$\alpha^{-}_{r,T}$	8.19

n_r^+	0.93	$a_{r_м}$	4.53	n_r^-	0.93
Значения параметров, входящих в функциональные разложения для емкостей схемы замещения					
$C_{0,дв}^+$, Ф	$\frac{5850 \cdot C_{ном}}{7}$	$C_{м,0}$, Ф	$\frac{11790 \cdot C_{ном}}{7}$	$C_{0,дв}^-$, Ф	$\frac{2550 \cdot C_{ном}}{7}$
$a_{дв}^+$	10-3	$a_м$	5·10-3	$a_{дв}^-$	5·10-3
$b_{дв}^+$	10-3	$b_{дв}^-$	10-3	-	-
$\alpha_{дв}^+$	10-4	$\alpha_{дв}^-$	10-4	-	-
Значения параметров, входящих в функциональные разложения для поляризованной составляющей ЭДС схемы замещения					
$\Delta\varepsilon_{0,пол}$, мВ	3.0	$\Delta\varepsilon_{1,пол}$, мВ	1.0	$T_{\varepsilon 0}^{(пол)}$, °С	-105000
Значения параметров, входящих в функциональные разложения для неполяризованных составляющих ЭДС схемы замещения					
$\varepsilon_{0,o}^{0+}$, В	2.61	$\varepsilon_{0,o}^{0-}$, В	1.61	-	-
$T_{\varepsilon 0}^+$, °С	-40590	$T_{\varepsilon 0}^-$, °С	-40590	T_0, °С	23

Значения аппроксимационных коэффициентов, входящих в функциональные разложения для теплоемкости и коэффициента теплопередачи ЛИА — Таблица 2

Параметр	Значение	Параметр	Значение
$C_{0,p}$, Дж/К	$30.143 C_{ном}$	K_0, Вт/К	$0.3 \cdot C_{ном}$

В таблицы 1 и 2 также входит постоянная Фарадея F = 96485.33289 Кл/моль и номинальная емкость ЛИА, взятая в А·ч.

Задав различные значения задающих параметров, мы из системы уравнений ФХП в ЛИА [3, 12] получим, используя таблицы 1 и 2, различные динамики напряжения, показанные на рисунке 1 при токах разряда 1С, 2С, 3С, 2.5С, 0.2С, 0.5С, 1.5С. На этих разрядных кривых напряжения будем строить математическую модель динамики напряжения в режиме разряда этого ЛИА постоянным током, используя аналитическое выражение:

$$
\begin{aligned}
U_I^p = {} & \tilde{U}^{p(1)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}, \frac{Q}{Q_I^p}\right)\bar{U}_{0.2C}^{(контр)}(Q) + \tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}, \frac{Q}{Q_I^p}\right)\bar{U}_{0.2C}^{(контр)}(Q)\bar{U}_{1.0C}^{(контр)}(Q) + \\
& + \tilde{U}^{p(1)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}, \frac{Q}{Q_I^p}\right)\bar{U}_{3.0C}^{(контр)}(Q) + \tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{0.2C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}, \frac{Q}{Q_I^p}\right)\left(\bar{U}_{0.2C}^{(контр)}(Q)\right)^2 + \\
& + \tilde{U}^{p(1)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}, \frac{Q}{Q_I^p}\right)\bar{U}_{1.0C}^{(контр)}(Q) + \tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}, \frac{Q}{Q_I^p}\right)\bar{U}_{0.2C}^{(контр)}(Q)\bar{U}_{3.0C}^{(контр)}(Q) + \\
& + \tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}, \frac{Q}{Q_I^p}\right)\left(\bar{U}_{1.0C}^{(контр)}(Q)\right)^2 + \tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}, \frac{Q}{Q_I^p}\right)\left(\bar{U}_{3.0C}^{(контр)}(Q)\right)^2 + \\
& + \tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}, \frac{Q}{Q_I^p}\right)\bar{U}_{1.0C}^{(контр)}(Q)\bar{U}_{3.0C}^{(контр)}(Q), \bar{U}_{0.2C}^{(контр)}(Q) \equiv U_{0.2C}^{(контр)}\left(\frac{Q}{Q_I^p}Q_{0.2C}^{(контр)}\right), \\
& \bar{U}_{1.0C}^{(контр)}(Q) = U_{1.0C}^{(контр)}\left(\frac{Q}{Q_I^p}Q_{1.0C}^{(контр)}\right), \bar{U}_{3.0C}^{(контр)}(Q) = U_{3.0C}^{(контр)}\left(\frac{Q}{Q_I^p}Q_{3.0C}^{(контр)}\right),
\end{aligned}
\tag{1}
$$

где функции $\tilde{U}^{p(1)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(1)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(1)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{0.2C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$ (аргументы опущены) ищутся для разных разрядных токов и разных отданных емкостей из полученных выше возможных динамик разрядных кривых напряжений (рисунок 1); Q_I^p - отдаваемая разрядная емкость при разряде ЛИА постоянным током до 2 В; определяется в соответствие с (аналогично [13]):

$$
\begin{aligned}
\frac{Q_I^p}{C_{ном}} = {} & \tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}\right)\frac{Q_{0.2C}^{(контр)}}{C_{ном}} + \tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}\right)\frac{Q_{1.0C}^{(контр)}}{C_{ном}} + \tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}\right)\frac{Q_{2.0C}^{(контр)}}{C_{ном}} + \\
& + \tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{0.2C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}\right)\left(\frac{Q_{0.2C}^{(контр)}}{C_{ном}} - 1\right)^2 + \tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}\right)\left(\frac{Q_{0.2C}^{(контр)}}{C_{ном}} - 1\right)\left(\frac{Q_{1.0C}^{(контр)}}{C_{ном}} - 1\right) + \\
& + \tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}\right)\left(\frac{Q_{1.0C}^{(контр)}}{C_{ном}} - 1\right)^2 + \tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}\right)\left(\frac{Q_{0.2C}^{(контр)}}{C_{ном}} - 1\right)\left(\frac{Q_{3.0C}^{(контр)}}{C_{ном}} - 1\right) + \\
& + \tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}\right)\left(\frac{Q_{3.0C}^{(контр)}}{C_{ном}} - 1\right)^2 + \tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}\left(\frac{I_k}{K_I C_{ном}}\right)\left(\frac{Q_{1.0C}^{(контр)}}{C_{ном}} - 1\right)\left(\frac{Q_{3.0C}^{(контр)}}{C_{ном}} - 1\right),
\end{aligned}
\tag{2}
$$

где функции $\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{0.2C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$ определяются из возможных полученных выше возможных динамик разрядных кривых напряжений (рисунок 1) с использованием таблицы 3 (полученных из разрядных кривых напряжения (рисунок 1)); $Q_{0.2C}^{(контр)}$, $Q_{1.0C}^{(контр)}$, $Q_{3.0C}^{(контр)}$ - отданные зарядовые емкости при токах разряда 0.2С, 1.0С, 3.0С соответственно.

Коэффициенты $\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{0.2C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, полученные из (2) и таблицы 3, приведены в таблице 4.

Определив коэффициенты $\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{0.2C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, входящие в модель (2), мы определим функции $\tilde{U}^{p(1)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(1)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(1)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{0.2C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{0.2C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{1.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q_{1.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q_{3.0C}^{(контр)},Q_{3.0C}^{(контр)}}$, входящие в модель (1). Затем, получив тестовые динамики разрядного постоянным током напряжения (рисунок 2), проверим эту динамику (получив из этой динамики тестовые разрядные емкости (таблица 5)).

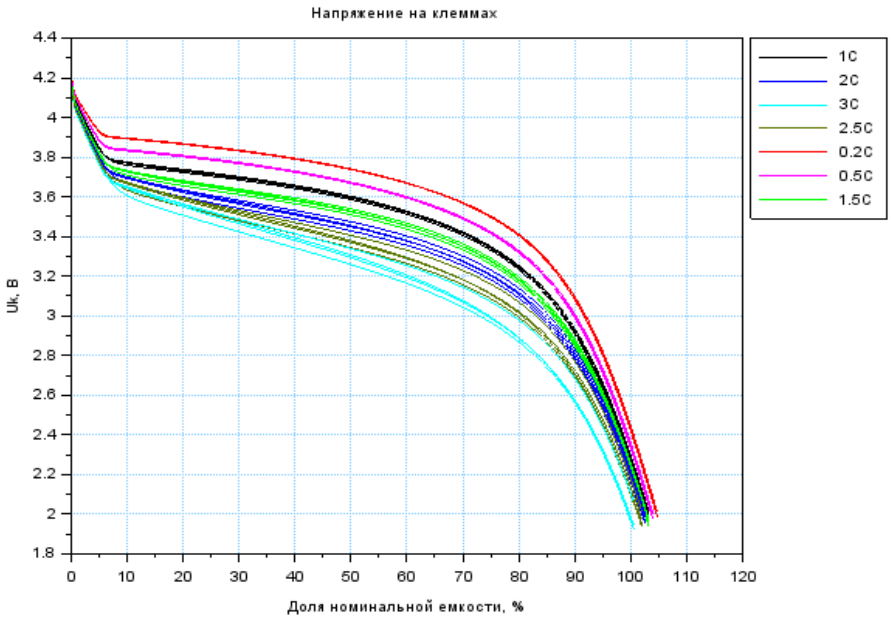


Рисунок 1 - Разрядные кривые напряжения в режиме постоянного разрядного тока при температуре окружающей среды 25°С, соответствующие различным значениям задающих коэффициентов

Разрядные зарядовые емкости (относительно номинальной зарядовой емкости) при различных токах разряда, различных динамиках, соответствующих различным задающим коэффициентам — Таблица 3

Разрядный ток, А / № динамики	Опорные разрядные токи			Прочие разрядные токи			
	1.0C	3.0C	0.2C	2.0C	2.5C	0.5C	1.5C
1	1.030431	0.9955	1.04585	1.0214	1.0134	1.03717	1.025995
2	1.029834	0.997	1.04573	1.02011	1.01237	1.03688	1.025046
3	1.03331	1.0132	1.048298	1.025963	1.021487	1.039728	1.029406
4	1.032695	0.9982	1.048177	1.024089	1.016893	1.039433	1.028357
5	1.029078	0.986	1.045641	1.017835	1.007699	1.036569	1.023714
6	1.031981	1.01	1.047496	1.02386	1.018811	1.038713	1.027736
7	1.025755	0.9701	1.046735	1.006011	0.992072	1.036277	1.016444
8	1.036677	1.0273	1.050329	1.032046	1.030137	1.042146	1.033945
9	1.036168	1.0246	1.050996	1.030279	1.027796	1.042332	1.032792

Коэффициенты в функциональной зависимости отданных зарядовых емкостей ЛИА — Таблица 4

Разрядный ток, А / Коэффициент	Опорные разрядные токи			Прочие разрядные токи			
	1.0C	3.0C	0.2C	2.0C	2.5C	0.5C	1.5C
$\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q^{(контр)}_{0.2C}}$	0.00294	-0.00013	0.997212	-1.4483	-1.75319	0.611464	-0.68928
$\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q^{(контр)}_{1.0C}}$	0.99691	0.000136	0.002939	2.6052	2.472013	0.328391	1.816493
$\tilde{Q}^{p(1)}_{I,Q^{(контр)}_{3.0C}}$	0.00014	0.999997	-0.00013	-0.1501	0.289134	0.058577	-0.12407
$\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{0.2C},Q^{(контр)}_{0.2C}}$	-0.03656	0.001693	0.034625	1.6430	3.877255	0.123628	0.190306
$\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{0.2C},Q^{(контр)}_{3.0C}}$	0.01746	-0.00097	-0.01638	1.7064	3.665639	-0.06321	0.518414
$\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{0.2C},Q^{(контр)}_{3.0C}}$	0.00443	-0.00016	-0.00424	14.591	9.724144	-2.37532	7.250197
$\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{1.0C},Q^{(контр)}_{1.0C}}$	0.03533	-0.00139	-0.0337	-4.2837	-1.71189	0.581346	-2.08243
$\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{3.0C},Q^{(контр)}_{3.0C}}$	-0.01087	0.000345	0.01045	-15.631	-16.1559	1.644165	-6.65286
$\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{1.0C},Q^{(контр)}_{3.0C}}$	0.0005	0.0	-0.00049	0.947	0.477303	-0.0791	0.413732

Выполнив расчет по этим тестовым динамикам (рисунок 2 и таблица 11) для контрольных разрядных токов 0.2С, 1.0С, 3.0С и по моделям (1) и (2), таблица 10, сопоставим с этими тестовыми динамиками (рисунок 2 и таблица 11). Относительная погрешность получения модели (2), таблица 10 не превышает 1.8%, причем в подавляющем большинстве тестовых динамик не превышает 0.5%. Относительная же погрешность модели (1) и (2), таблица 10 не превышает 5%; эта относительная погрешность возрастает по мере приближения ЛИА к состоянию переразряда. Это объясняется тем, что к переразряду ЛИА матрица системы, получаемой из (1) относительно $\tilde{U}^{p(1)}_{I,Q^{(контр)}_{0.2C}}$, $\tilde{U}^{p(1)}_{I,Q^{(контр)}_{1.0C}}$, $\tilde{U}^{p(1)}_{I,Q^{(контр)}_{3.0C}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{0.2C},Q^{(контр)}_{0.2C}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{0.2C},Q^{(контр)}_{1.0C}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{0.2C},Q^{(контр)}_{3.0C}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{1.0C},Q^{(контр)}_{1.0C}}$, $\tilde{Q}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{1.0C},Q^{(контр)}_{3.0C}}$, $\tilde{U}^{p(2)}_{I,Q^{(контр)}_{3.0C},Q^{(контр)}_{3.0C}}$, плохо обусловлена.

Полученная модель динамики разрядного напряжения ЛИА (1) и (2), таблица 10 далее проверяется на экспериментально снятых кривых разряда постоянными токами напряжения четырех снятых экземпляров ЛИА марки US18650VTC6. Эти токи разряда в процессе проведения эксперимента поддерживались постоянными вручную; относительная погрешность полученной модели (1) и (2), таблица 10 не превышает 10%, что для такого эксперимента является допустимым.

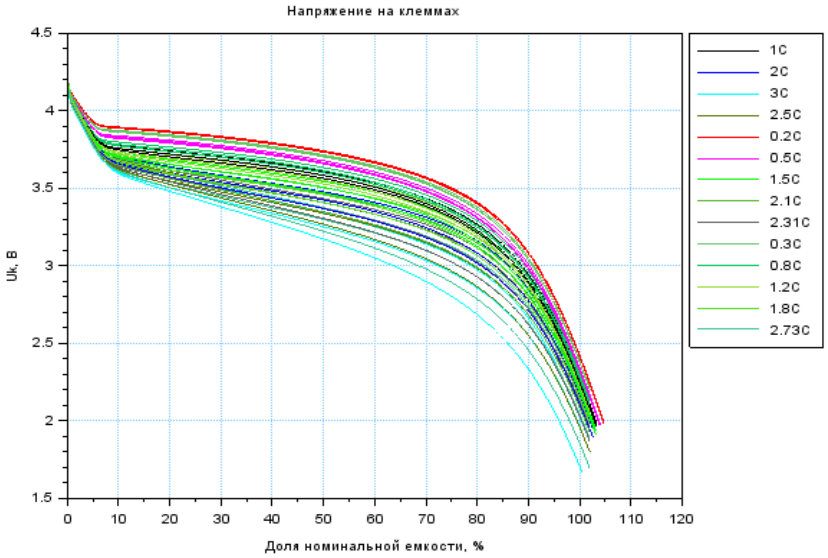


Рисунок 2. Тестовые разрядные постоянным током кривые напряжения (получены из системы уравнений ФХП в ЛИА при различных значений коэффициентов ФР для СВП) при различных токах разряда и температуре окружающей среды 25°С

Тестовые разрядные зарядовые емкости при разных токах разряда и разных коэффициентах в ФР для СВП (соответствующих разных динамиках ФХП в ЛИА) Таблица 5

№ динамики / Ток разряда		1	2	3	4	5	6
Опорные токи разряда	0.2C	1.0460934	1.0457036	1.0455002	1.0482385	1.0491322	1.0492778
	1.0C	1.0317178	1.0296707	1.0284473	1.0327669	1.0338637	1.0340718
	3.0C	1.0028724	0.9959065	0.9598986	0.9990329	1.0181537	1.0086298
Прочие токи разряда	2.0C	1.0241837	1.0197221	1.0136149	1.0242151	1.0268515	1.0263112
	2.5C	1.0176116	1.0117562	0.9947795	1.017169	1.0233207	1.0209523
	0.5C	1.0378047	1.0368035	1.0362814	1.0394965	1.0403675	1.0406199
	1.5C	1.0279571	1.0247881	1.0222725	1.0284448	1.0300198	1.0300165
	2.1C	1.0232285	1.0184847	1.0109872	1.0231854	1.0262075	1.0254668
	2.31C	1.0207372	1.0153926	1.0037628	1.0205329	1.0247725	1.0233986
	0.3C	1.0612096	1.0291828	1.0296096	1.0424812	1.0603057	1.0602683
	0.8C	1.0336667	1.0321622	1.0313316	1.0353587	1.0360021	1.0363868
	1.2C	1.0300989	1.0276148	1.0259863	1.0309525	1.0322078	1.0322758
	1.8C	1.0258236	1.0219041	1.0177497	1.0260217	1.0281127	1.0278512
	2.73C	1.0121521	1.0057932	0.9805651	1.0109372	1.0212513	1.0166874

Заключение

В настоящей работе было показано получение математической модели физико-химической системы из системы уравнений процессов в ней путем исключения неизвестных величин из этой системы на примере получения математической модели разрядной постоянным током динамики напряжения ЛИА. Затем эта модель проверяется экспериментально (на основе испытаний 4-х экземпляров ЛИА). Далее описанным образом будут получаться модели прочих режимов работы ЛИА с их объединением в более полную модель ЛИА. Затем, способом, описанным в [15], получаем модели ЛИА, получаемые из учета деградационных процессов в ЛИА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кедринский И.А., Яковлев В.Г. Литий-ионные аккумуляторы. Красноярск: Платина, 2002. 268 с.

2. Иванов В.В., Мараховский И.Г., Кравченко С.В. Формирование требований к авиационным литий-ионным аккумуляторным батареям // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «X научные чтения, посвященные памяти Н.Е. Жуковского». М.: ООО «Экспериментальная мастерская «НаукаСофт», 2013. С. 303 – 306.

3. Старостин И.Е., Халютин С.П. Получение диагностических и прогностических моделей литий-ионного аккумулятора путем моделирования физико-химических процессов в них потенциально-потоковым методом // Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского». М.: Издательский дом Академии Н.Е. Жуковского, 2019. С. 110 – 120.

4. Jou D., Casas-Vazquez J., Lebon G. Extended irreversible thermodynamics. New York, USA: Springer, 2006.

5. Эткин В.А. Энергодинамика: синтез теорий переноса и преобразования энергии. СПб: Наука, 2008.

6. Полак Л.С. Неравновесная химическая кинетика и ее применение. – М.: Наука. 1979.

7. Starostin I.E., Bykov V.I. Kinetic theorem of modern non-equilibrim thermodynamics. Raley (Noth Caroline, USA): Open science publishing, 2017.

8. Старостин И.Е., Степанкин А.Г. Программная реализация методов современной неравновесной термодинамики. И система симуляции физико-химических процессов SimulationNonEqProcSS v. 0.1.0. Бо Бассен, Маврикий: Lambert academic publishing, 2019.

9. Старостин И.Е., Халютин С.П., Быков В.И. Упрощение потенциально-потоковых уравнений динамики физико-химических процессов для получения математической модели системы // Сложные системы. 2019. № 3(32). С. 82 – 97.

10. Старостин И.Е. Алгоритм численного интегрирования потенциально-потоковых уравнений в сосредоточенных параметрах с контролем корректности приближенного решения // Компьютерные исследования и моделирование. 2014. т. 6. № 4. С. 479 – 493.

11. Старостин И.Е., Левин А.В., Давидов А.О. Анализ работоспособности литий-ионного аккумулятора в процессе эксплуатации на основе анализа его физико-химических процессов // Труды научно-технической конференции «Электрификация летательных аппаратов» / Сборник докладов. М.: ИД Академии Жуковского, 2016. С. 85 – 95.

12. Старостин И.Е., Давидов А.О., Левин А.В. Моделирование возможных динамик физико-химических процессов в литий-ионных аккумуляторах // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Пенза: ПГУ, 2018. 1 т. С. 219 – 224.

13. Starostin I.E., Khalyutin S.P., Davidov A.O., Levin A.V., Trubachev A.T. The development of a mathematical model of lithium-ion battery discharge characteristics // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 2019. P. 568–571.

14. Старостин И.Е., Быков В.И. Анализ и моделирование в сосредоточенных параметрах динамики реальных физико-химических процессов методами современной неравновесной термодинамики с использованием системного анализа // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Пенза: ПГУ, 2018. 1 т. С. 210 – 214.

УДК 618.614

Фролов С.И., Таньков Г.В., Кочегаров И.И., Данилова Е.А., Трусов В.А.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ ТОНКОСТЕННЫХ КОРОБЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

В настоящее время на пути развития радиотехники серьезным препятствием являются проблемы обеспечения надежности создаваемых радиоэлектронных средств и особенно бортовых (БРЭС). Это связано с постоянным усложнением БРЭС и с расширением условий ее эксплуатации в сторону ужесточения.

Так, например, аппаратура, установленная на борту ракет-носителей и космических аппаратов должна работать в температурном диапазоне от -70 до +125°С, в условиях вибрации с большими перегрузками в диапазоне частот до 5000Гц, акустических шумов до 165дБ, многократных ударов и т.п. А это неизбежно приводит к значительному увеличению количества отказов БРЭС при требуемых сроках эксплуатации до 20 лет по сравнению с условиями эксплуатации без этих воздействий и в эти сроки.

Переход в состояние отказа происходит под влиянием многих факторов, которые можно отнести к эксплуатационным, конструктивным и производственным. Причем, по статистике последние две группы факторов делают свой вклад примерно в одинаковой мере, а обе вместе - до 80% всех отказов.

К основным конструктивным факторам, влияющих на надежность БРЭС можно отнести: неправильный выбор комплектующих элементов и исходных материалов, недостаточный учет их физических возможностей; различные просчеты в конструктивных решениях и др.

Производственные факторы надежности аппаратуры связаны, главным образом, с ошибками в технической подготовке производства, а также с использованием некачественных материалов и комплектующих элементов, с нарушением режимов технологических процессов, неэффективностью контроля качества в процессе производства продукции.

Основным эксплуатационным фактором ненадежности аппаратуры является ее использование в несоответствующих условиях эксплуатации.

Очевидно, что наиболее важной и требующей особого внимания группой факторов надежности БРЭС являются конструктивные факторы, поскольку исправление ошибок конструирования часто оказываются наиболее дорогостоящими, поскольку требуют последующих изменений в технической подготовке производства и доработки или списании задела продукции.

Ситуация усложняется тем, что значительную долю отказов составляют так называемые «постепенные» отказы, которые являются следствием деградации физико-механических свойств материалов под влиянием внешних воздействий и естественного старения. Выявить возможные причины таких отказов очень сложно, а «априори», на этапе разработки БРЭС, практически не возможно, так как требуемые сроки их эксплуатации очень велики.

В этих условиях обеспечение возрастающих требований к надежности БРЭС и ЭРИ достигается постоянным совершенствованием их конструкции, технологии изготовления, методов контроля и испытаний, а также работой по выявлению скрытых дефектов, с использованием методов и средств физико-химических исследований. Однако, по оценке экспертов, до 30% дефектов и отказов ЭРИ не поддаются выявлению и устранению с помощью этих методов исследования, а высокая сложность и значительные затраты на выполнение работ требуют поиска новых возможностей по исключению причин отказов. И на этом пути важную роль может сыграть компьютерное моделирование физических процессов в элементах конструкций БРЭС.

Как известно, значительная доля отказов БРЭС (около 30% от всех отказов) связана с влиянием на них внешних механических воздействий: вибраций, ударов, линейных ускорений и т.п. Эти воздействия могут приводить к нарушению герметичности блоков из-за разрушения паяных и сварных швов, появления трещин в металлостеклянных спаях и даже разрушению корпусов блоков БРЭС и их отдельных частей [3].

В данной статье приводится пример компьютерного моделирования по определению резонансных частот тонкостенных коробчатых конструкций БРЭС, к которым могут быть отнесены защитные кожухи герметичных корпусов блоков (Рис. 1), герметичных электромагнитных реле и др.

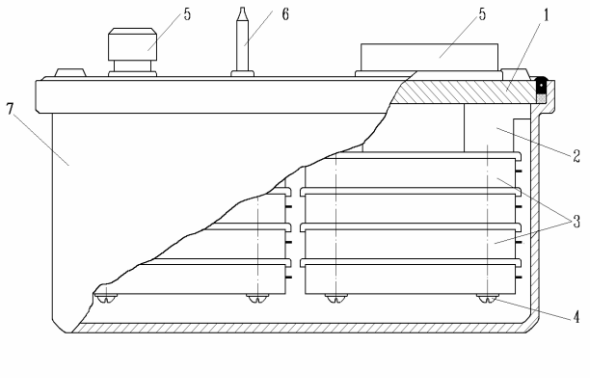


Рисунок 1 – Пример герметичного блока БРЭС

На первый взгляд может показаться, что резонансы кожухов не влияют на надежность герметичных блоков и реле. Однако, имеющийся опыт эксплуатации это не подтверждает.

Так, например, в [1] разработана математическая модель инжекции защитного газа из вакуум-плотного корпуса РЭА через паяное соединение крышки корпуса и разработан метод контроля герметичности вакуум-плотных корпусов РЭА космических летательных аппаратов. Показано, что на этапе хранения, а также непосредственно в период

эксплуатации корпусов герметизированных пайкой существует вероятность образования дефектов в герметизирующем шве и недопустимого снижения давления защитного газа в корпусе (Рис.2.). Как следствие, возможны отказы РЭА.

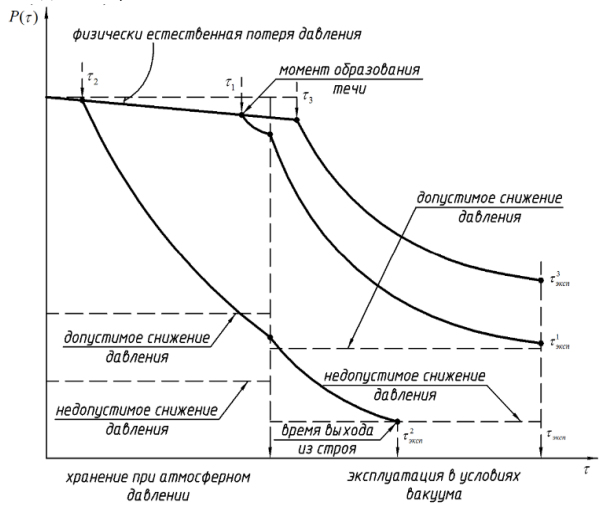


Рисунок 2 - Характерные варианты изменения давления защитного газа в герметичных корпусах РЭА

Можно привести другой пример. Анализ отказов БРЭС ракетно-космической техники показал, что самыми критичными в них среди ЭРИ являются электромагнитные реле, а одним из наиболее значимых (до 30% всех отказов) дефектов в процессе эксплуатации электромагнитных реле является разгерметизация в условиях жестких тепловых и механических воздействий [2].

Возможной причиной разгерметизации реле может служить наличие дефектов сварного шва между цоколем и защитным кожухом реле (Рис.3), которые при наличии остаточных технологических напряжений, вибрации и тепловых воздействий могут привести к местному нарушению сплошности сварного шва и потере герметичности реле.

Рисунок 3 - Сварной шов соединения кожуха с цоколем реле

И здесь, на ряду с производственными факторами, может оказать отрицательное влияние такой конструктивный фактор, как наличие резонансов кожуха реле в условиях эксплуатации, при которых уровень циклических механических напряжений многократно возрастает и начинают действовать усталостные явления в материалах соединений.

Таким образом, задача определения резонансных частот колебаний защитного кожуха является актуальной как при разработке конструкции новых блоков, так и при выборе типа реле при разработке БРЭС.

В большинстве случаев защитный кожух представляет собой тонкостенную коробчатую конструкцию, закрепленную на основании блока пайкой или с помощью лазерной сварки на цоколе реле. Такая конструкция для решения выше указанной задачи может быть представлена в виде параллелепипеда состоящего из 5 граней (одна верхняя и по две боковых) в виде тонких пластин одинаковой жесткости и одной гранью (нижней), являющейся основанием, с существенно большей жесткостью. Решение задач по определению резонансных частот этой пространственной конструкции возможно только численными методами, в частности методом конечных элементов (МКЭ), но в известных нам литературных источниках не встречается.

Метод конечных элементов в настоящее время распространен достаточно широко, он в частности используется в таких пакетах программ как ANSYS, SOLIDWORKS, SIMULATION и др. Но при всех достоинствах МКЭ, он крайне сложен и пакеты программ на его основе получаются громоздкими, ресурсоемкими, сложными в освоении и дорогими. Это делает его использование не рациональным в практическом конструировании при определении резонансных частот тонкостенных пространственных конструкций.

В тоже время, при допущении несмещения ребер коробки при колебаниях, пространственная задача сводится к плоской задаче расчета резонансных частот развертки коробки на плоскости, для решения которой можно воспользоваться более доступными, чем МКЭ методами конечных разностей (МКР).

Как известно [3-5], резонансные частоты тонких пластин f могут быть найдены в общем виде по формуле:

$$f=A\ h\ k/S, \qquad (1)$$

где: A – частотный коэффициент; h –толщина пластины;

$k = (1/2\pi)\sqrt{E/12(1-\nu^2)}\ \rho$;

$E,\nu,\ \rho$ – модуль упругости, коэффициент Пуассона и плотность материала;

$S = ab$ – площадь прямоугольной пластины, где a и b длины сторон.

Очевидно, что для коробки $S = ab+2c(a+b)$ – площадь срединной поверхности стенок коробки; a,b,c - размеры по осям x, y, z.

Все входящие в формулу (1) величины, кроме частотного коэффициента k, заданы или известны. Значения коэффициентов k находятся в результате решения дифференциальных уравнений в частных производных и для некоторых случаев граничных условий прямоугольных пластин приведены в литературе [3-5].

Для решения дифференциальных уравнений в частных производных с использованием МКР в нашем случае наиболее подходящей оказалась методика, предложенная в [6,7]. В этой методике для решения конечно- разностных уравнений применен итерационный процесс Зейделя с интерактивным формированием собственной формы колебаний пластины и учетом сходимости собственных значений в узлах сетки. Такой подход обеспечивает простоту постановки задачи, удобство в эксплуатации и приемлемую скорость расчетов при использовании персонального компьютера со средними характеристиками и стандартной офисной программы Excel 2007. Это позволило решить задачи для реального многообразия крепления печатных плат, защитных кожухов блоков, а также кожухов реле с любым соотношением сторон.

На Рис.4 приведены некоторые собственные формы колебаний печатных плат, а на Рис.5 – собственные формы колебания кожухов реле и их развертки с соотношением сторон 1x1x1 и 2x1x1 по осям x,y,z.

Точность расчетов первой собственной частоты коробчатых конструкций методом МКР оценивалась в сравнении с результатами расчетов собственных частот методом конечных элементов (МКЭ) с использованием пакета программ ANSYS на примере защитного кожуха блока БРЭС (Рис.1.) с размерами 300x200x200мм, толщина стенки 2мм, материал алюминий.

На рис.6 приведена первая собственная форма колебаний кожуха, найденная с использованием ANSYS. Собственная частота колебаний составила 179,9 Гц.

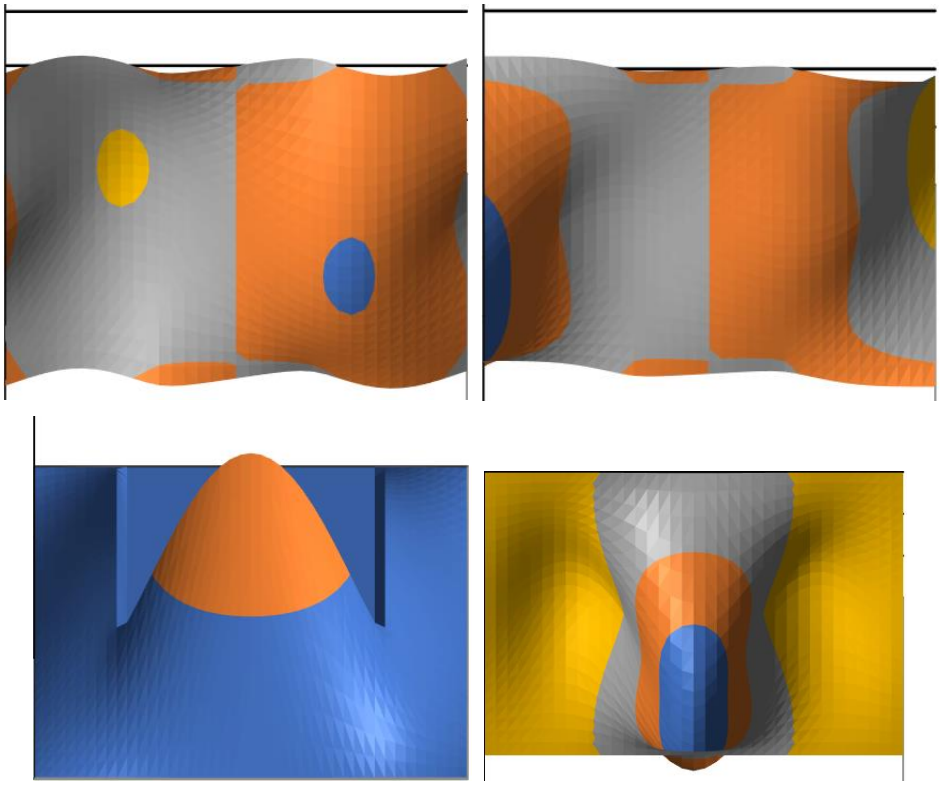
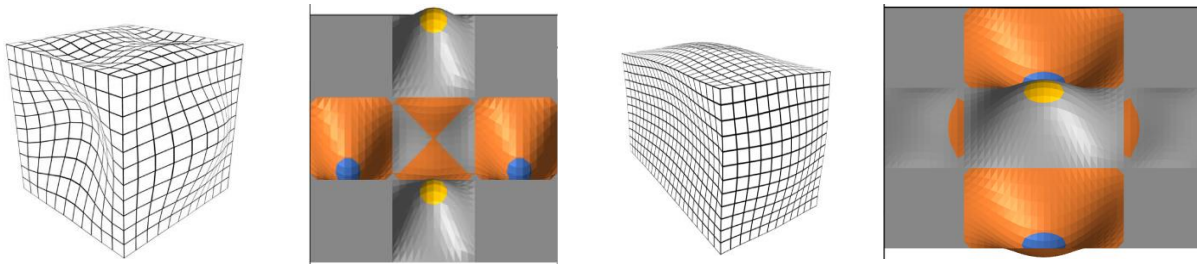


Рисунок 4 - Собственные формы колебаний для разных вариантов крепления печатных плат, с вырезом и 2-мя точками по середине



а) б)

Рисунок 5 - Собственные формы колебаний разверток и кожухов реле с различным соотношением сторон: а) соотношение сторон 1x1x1; б) соотношение сторон 2x1x1

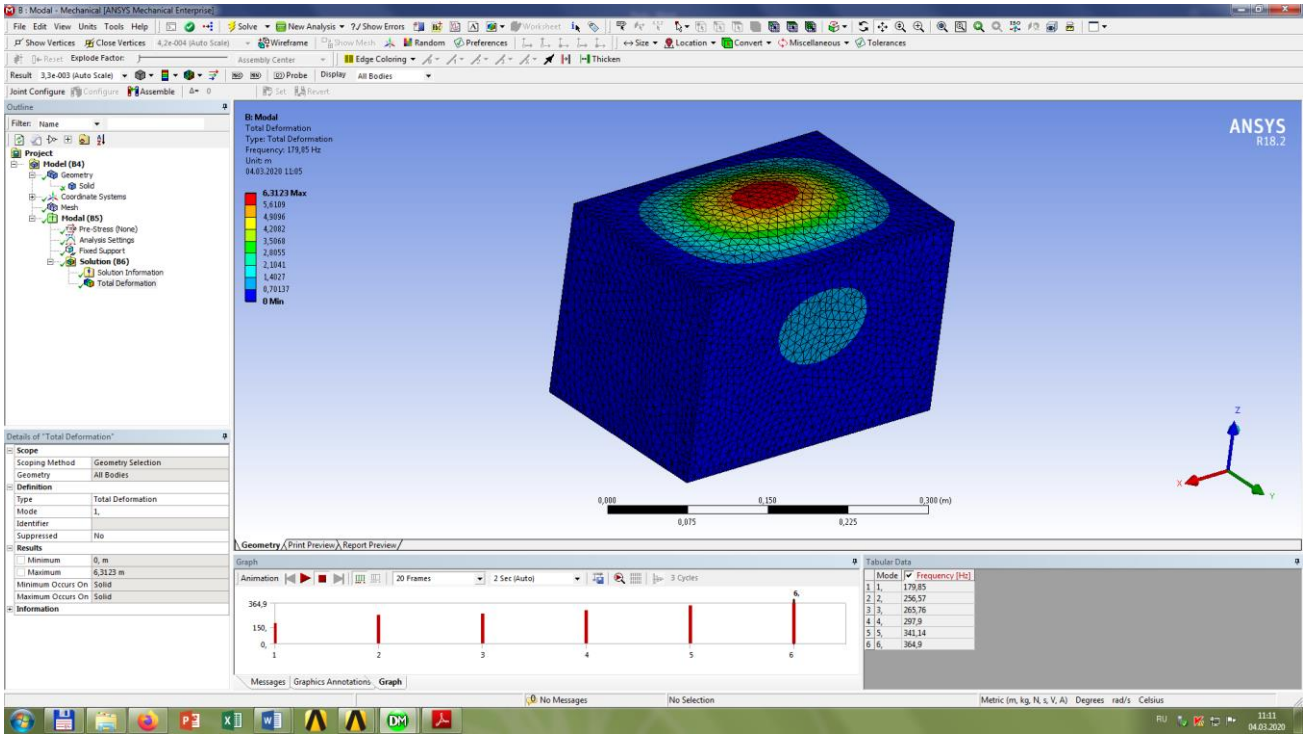


Рисунок 6 - Результаты расчета первой собственной частоты колебаний кожуха с использованием ANSYS

Результаты расчетов с использованием МКР приведены в таблице 1.

Таблица 1

Коробка 300х200х200мм		
a	0,3	м
b	0,2	м
c	0,2	м
S	0,260	м2
h	0,002	м
p	2770	кг/м3
v	0,33	
E	71000	н/м2
	1000000	
k	246,4	
A	102,5	
f	194,3	гц

Таким образом, расхождение результатов расчетов двумя различными методами составило около 8%, что подтверждает достаточную точность использованной методики МКР.

Проверка возможности оценки резонансных частот коробчатых конструкций на ранних стадиях проектирования БРЭС выполнена так же на примере представительной выборки электромагнитных реле. [8]

В качестве исходных данных для расчетов использовались следующие данные:

Материал кожуха – МЦ15-20, модуль упругости E = 13,5*10¹° н/м2, плотность p = 8600 кг/м3, коэффициент Пуассона v = 0,33, толщина стенок коробки - h = 0,5 мм.

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Тип реле	Размеры кожуха, мм			Вибрация		Удар	Ср.службы, лет	S поверх., мм²	Резонанс, Гц	Отношение частот
		Длина	Ширина	Высота	*f*, Гц	Перегр,g	Перегр.,g				
1	РЭК24	30	16,5	33	2000	10	75	20	3298	2491	1,2
2	РЭК83	22,5	11,8	23	2000	20	75	25	1653	4968	2,5
3	РЭК84	30	16,5	35	3000	10	75	25	3476	2363	0,8
4	РЭК88	21	11,5	24	3000	20	35	12	1613	5092	1,7
5	РЭК88	21	11,5	24	3000	20	35	12	1613	5092	1,7
6	РЭК93	22,5	11,8	23	3000	20	75	25	1653	4968	1,7
7	РЭК94	30	16,5	33	2000	10	75	20	3298	2491	1,2
8	РЭС48	21	10,5	23	3000	20	35	12	1488	5520	1,8
9	РЭС48	21	10,5	23	3000	20	35	25	1488	5520	1,8
10	РЭС90	22,5	11,8	23	3000	20	100	12	1653	4968	1,7
11	РЭС90	21	10,5	23	3000	20	100	12	1488	5520	1,8
12	РЭА12	22,5	11,8	23	3000	20	35	15	1653	4968	1,7
13	РПК30	28,8	15,2	27,5	3000	20	100	20	2621	3134	1,0
14	РПК57	26	13,2	26	3000	30	200	20	2165	3794	1,3
15	РПК72	28,5	15	27,5	5000	25	75	15	2585	3178	0,6
16	РПК75	26	13,2	26	3000	30	200	20	2165	3794	1,3
17	РПК83	26	13,2	26	2000	20	15	20	2165	3794	1,9
18	РПК10	20,5	10,4	18,5	3000	20	150	20	1195	6875	2,3
19	РПС32	22,7	10,5	25,5	3000	15	100	12	1735	4734	1,6
20	РЭС52	18	12	14	3000	20	75	12	915	8977	3,0
21	РЭС78	18	12	14	3000	15	35	12	915	8977	3,0
22	РЭК91	40	40	40	2000	10	150	20	7605	1080	0,5
23	РПК59	26	26	26	3000	30	200	20	3125	2628	0,9
24	РПК82	26	26	26	2000	20	15	20	3125	2628	1,3
25	РЭК49	23	21	10,5	3000	20	100	17	1238	6635	2,2
26	РЭК87	23	12	12	3000	12	75	20	968	8485	2,8

Как видно из таблицы, у значительной части реле их защитные кожухи могут резонировать при воздействии вибрации.

Защитные кожухи 6 реле (2, 18, 20, 21, 25, 26) можно считать безрезонансными в заданном диапазоне частот их вибрации. При применении в новых разработках 11 реле (1,3,7,13,14,15,16,19,22,23,24) надо учитывать их потенциальную склонность к отказам по причинам усталостной разгерметизации. Кожухи остальных реле, если добротность их резонансов достаточно высока, можно считать условно безрезонансными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свиридюк. Д.М. Повышение эксплуатационных характеристик двигателей путем введения технологической операции контроля герметичности вакуум-плотных корпусов РЭА. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, Авиационная и ракетно-космическая техника, 2009.

2. Тюлевин. С.В. Анализ отказов бортовых радиоэлектронных средств. Самарский НИУ, Наука и инновации в современном мире; техника и технологии, Книга 2. Одесса, 2017г.

3. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств: Учебник для радиотехн. спец. вузов / А.П. Ненашев, М.: Высш. школа, 1990.

4. Талицкий Е.Н. Защита электронных средств от механических воздействий. Теоретические основы: Учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2001. 4. Карпушин В.Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. М. «Советское радио», 1971г.

5. Под ред. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания, М., изд. Машиностроение, 1968г.

6. Фролов С.И. Расчет собственных частот и форм колебаний плоских элементов радиоконструкций на ЦВМ. Пенза, ППИ. В сборнике «Вопросы проектирования специальных радиоэлектронных устройств», Выпуск 3, 1974г.

7. Фролов С.И., Юрков Н.К., Кочегаров И.И., Лысенко А.В. Разработка системы сквозного автоматизированного проектирования безрезонансных печатных узлов РЭС. Пенза, ПГУ. Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», том 1, 2016г.

8. Основные параметры и режимы работы герметичных СЭМР, рекомендуемых для применения в специальной аппаратуре. Санкт-Петербург, ОАО НПК «Северная заря», http://old.relays.ru/ind.html

УДК 618.614

Юдин А.А., Жихарев К.В., Кочегаров И.И.
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

ОТСЛЕЖИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА ПО КЛЮЧЕВЫМ ПАРАМЕТРАМ

Мониторинг технических систем нужен для предотвращения опасных и аварийных ситуаций. Провести мониторинг состояния электронного устройства достаточно сложно – нет очевидных маркеров ухудшения ситуации. Однако накоплен большой опыт причин отказа электронных компонентов – составных частей изделия. Это означает, что возможно смоделировать состояние устройства, зная в каких оно условиях эксплуатировалось, а значит и предсказать скорый отказ.

Исходя из целей работы не будем рассматривать те отказы компонентов, которые возникают при их хранении, транспортировке, монтаже, а лишь рассмотрим их в составе готового устройства.

Согласно данным Центра передовой разработки жизненного цикла (CALCE) более половины всех отказов электронных устройств на стадии квалификации либо на стадии эксплуатации потребителем приходится на конденсаторы (30%) и печатные платы (26%). Следом за ними идут отказы электронных компонентов в пластиковых корпусах (PEM) – интегральные схемы, транзисторы и т.п. На них приходится 21% всех отказов (рисунок 1) [4].

Рассмотрим различные механизмы отказов электронных компонентов. Также будем считать, что компоненты обладают достаточным качеством, не имеют дефектов, и в нормально функционирующем устройстве работают в рекомендуемых производителем условиях. Таким образом, отказы будут вызваны внешними воздействующими факторами, значения которых превышают нормальный уровень. Ниже рассмотрим основные механизмы отказов, для наглядности представленные отдельно для каждой группы компонентов.

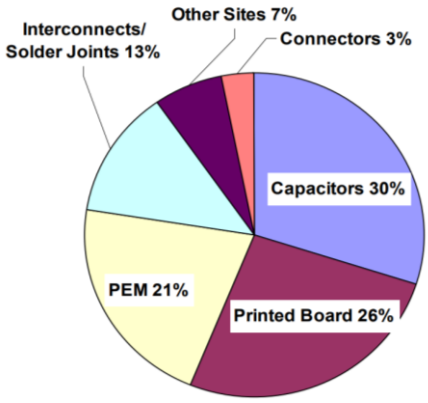


Рисунок 3

Конденсаторы. Как было сказано выше, именно отказы конденсаторов являются основной причиной выхода из строя электронного устройства. В таблице 1 приведены основные механизмы отказа и вызываемые ими неисправности.

Печатные платы. Отказы в печатных платах, как правило, являются проявлением латентных дефектов, заложенных несовершенными технологическими процессами производства. Примером тому может служить растрескивание сквозных металлизированных отверстий.

Отказы конденсторов Таблица 4

Механизм отказа	Воздействие	Неисправность	Как проявляется
Механический	Удар или вибрация	Повреждение (трещина) в диэлектрике	- короткое замыкание - увеличение тока утечки
Электрический	Импульсное перенапряжение, статический пробой	Образование перемычки между обкладками	- короткое замыкание - увеличение тока утечки [1]
	Пьезоэлектрический эффект	Повреждение (трещина) в диэлектрике	- короткое замыкание - увеличение тока утечки
Тепловой	Повышенная температура	Ускоренное высыхание электролита	- увеличение последовательного сопротивления
		Деградация диэлектрика	- увеличение тока утечки
	Тепловой удар	Повреждение (трещина) в диэлектрике	- увеличение тока утечки - снижение пробивного напряжения - короткое замыкание [2]

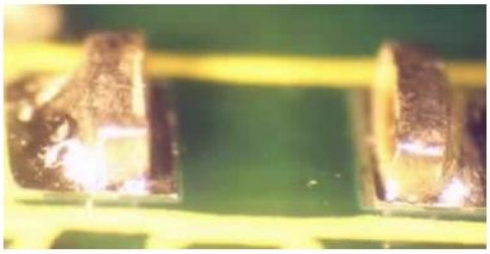


Рисунок 2 – Пропавший в результате растрескивания керамики SMD конденсатор

Рисунок 3 – Высохшие электролитические конденсаторы

Отказы печатной платы Таблица 5

Механизм отказа	Воздействие	Неисправность	Как проявляется
Механический	Изгиб печатной платы, вибрация	Усталостные разрушения материала, приводящее к: отрыву контактных площадок SMD компонентов (PAD cratering), растрескиванию металлизации переходного отверстия [5]	- Разрыв электрической цепи
Тепловой	Тепловой удар, циклическое изменение температуры		
Химический (Электрохимический)	Попадание влаги на печатную плату	Образование коррозии, ускоренное воздействием разности потенциалов в схеме электронного устройства	- Паразитные электрические связи, вплоть до короткого замыкания - Разрыв электрической цепи

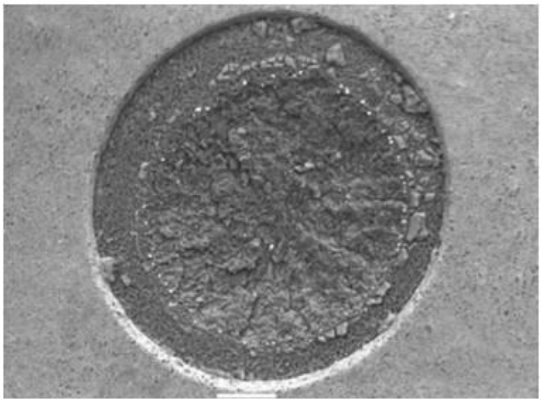


Рисунок 4 – Отрыв контактной площадки BGA

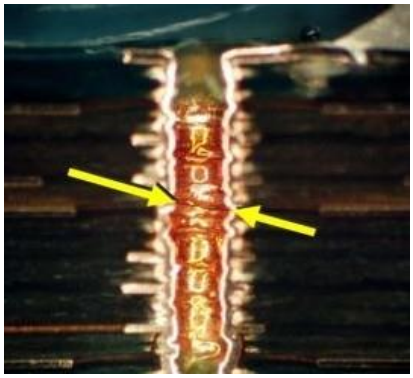


Рисунок 5 – Трещина в металлизации переходного отверстия

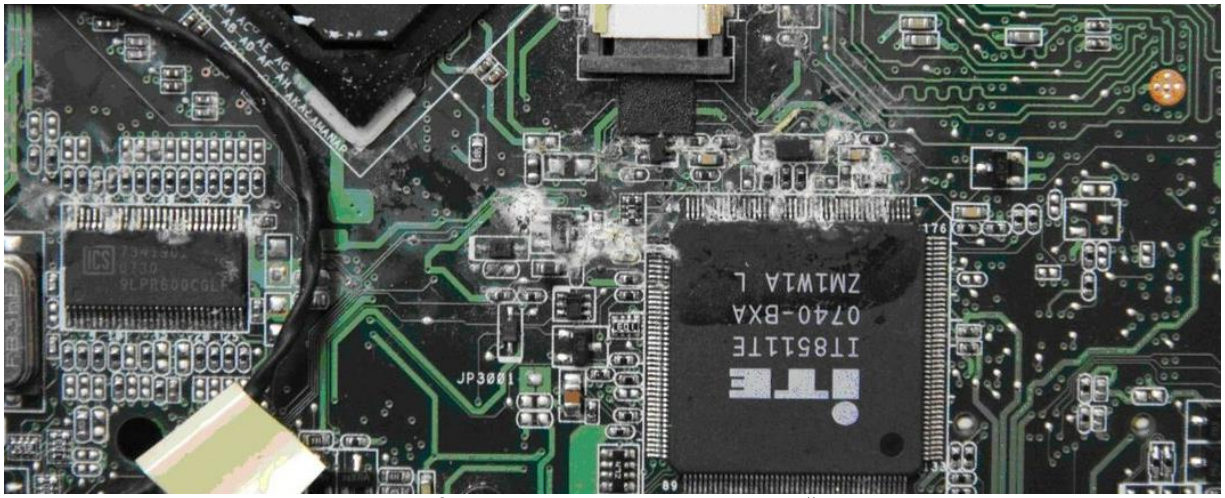


Рисунок 6 – Следы коррозии на печатной плате

Отказы элементов в пластиковых корпусах Таблица 6

Механизм отказа	Воздействие	Неисправность	Как проявляется
Механический	Изгиб печатной платы, вибрация	Обрывы перемычек между кристаллом и выводами, разрушение ножек	Разрыв электрической цепи
Тепловой	Тепловой удар, циклическое изменение температуры		
Электрический	Импульсное перенапряжение, статический пробой	Электрический пробой полупроводников	Короткое замыкание, иные формы отказа микросхем
Радиационный	Тяжелые заряженные частицы	Тиристорное защелкивание, перезаписанный бит [3]	Короткое замыкание, программный сбой

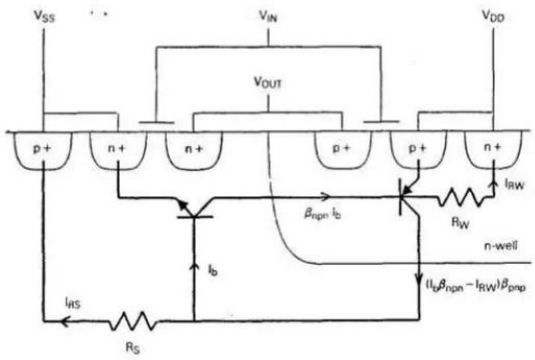


Рисунок 7 – Паразитная тиристорная структура КМОП-микросхем

Компоненты в пластиковых корпусах

Использование компонентов в пластиковых корпусах создаёт ситуацию механического сочленения большого количества материалов с различными коэффициентами теплового расширения (компаунд, кремний, текстолит, металлическая перемычка, припой), что приводит к проблемам в расширенном диапазоне температур.

Из статистических данных видим, что к отказу различных компонентов приводят одни и те же внешние воздействия. К отказу трёх самых распространённых компонентов – виновников отказа устройства – приводят такие воздействия как: тепловой удар, механический удар, вибрация.

Наблюдая за этими событиями, происходящими с устройством, можно моделировать техническое состояние объекта и предупреждать скорые отказы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aitken N. Capacitor Failure Modes – Lessons from Industry C. 10.
2. John Taylor Failure mechanisms in ceramic capacitors C. 9.
3. National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia [и др.]. Sensitivity to Thyristor Effect of CMOS Structure with Deep Insulat-ing N-Well // Proceedings of Universities. ELECTRONICS. 2017. № 3 (22). С. 238–246.
4. Sood B. Root-Cause Failure Analysis of Electronics // 2013.
5. Printed Circuit Board (PCB) Failure Analysis - Engineering Technical -PCBway [Электронный ресурс]. URL: https://www.pcbway.com/blog/Engineering_Technical/Printed_Circuit_Board_PCB_Failure_Analysis.html (дата обращения: 10.11.2019).

УДК 531.768.5

Петров П.Э., Андреев П.Г., Андрианов А.Р., Наумова И.Ю.
ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО УСКОРЕНИЯ

В статье рассмотрены основные виды датчиков для измерения линейного ускорения. Дан их краткий сравнительный анализ. Показана актуальность исследования и разработки надежных, высокочувствительных, стабильных емкостных акселерометров.

Ключевые слова:
АКСЕЛЕРОМЕТР, ДАТЧИК, УСКОРЕНИЕ, ПРИБОР, МЭМС, МИКРОСИСТЕМЫ

В современном, развивающемся мире технологиям отведено особое место. Их важность в развитии науки и техники состоит в том, что именно технологии определяют устойчивое развитие общества в целом. Технологии состоят у истоков любого изобретения. Именно благодаря им появляются новые устройства и материалы. В свою очередь современные технологии не могут обходиться без непрерывного контроля над множеством параметров различных технологических процессов и контроля состояния оборудования. Подобный контроль необходим в самых разных областях технических систем, предназначенных для измерения, сигнализации, регулирования, управления устройствами или процессами т.д.

Одним из важнейших направлений современной науки и техники является контроль состояния технический систем. Современные приборы и установки позволяют решать весьма сложные инженерные, производственные и научные задачи. В настоящее время различные датчики широко используются при построении систем автоматизированного управления [1, 2, 3]. Они преобразуют контролируемую величину такую как давление, концентрация, расход, скорость, частота, перемещение, температура, напряжение, электрический ток и т.п. в сигнал электрический, пневматический или в оптический, удобный для измерения, преобразования, передачи, регистрации и хранения информации о состоянии объекта измерений. Одними из важнейших являются параметры механического движения, в частности параметры периодических перемещений исследуемого объекта в пространстве (ускорение). Этими параметрами являются линейные ускорения (параметр определяющий быстроту изменения скорости тела), ударные ускорения (параметр определяющий резкое изменение скорости тела за бесконечно малый промежуток времени) и вибрация (колебание или повторяющееся движение объекта около положения равновесия).

Для контроля состояния объекта в пространстве используют так называемый акселерометр, датчик линейного ускорения. Разработка датчиков линейного ускорения (такого рода датчиков) является одним из основных направлений современного приборостроения. Они имеют широкую область применения в автомобилестроения, авиастроения, стабилизации платформ с установленными на них измерительными устройствами, системах управления подвижными объектами разного класса, измерительных инерциальных системах, навигации и др. Эта область является весьма перспективной и актуальной и на сегодняшний день.

В настоящее время разработано достаточно много датчиков линейного ускорения, основанных на различных эффектах. Все они имеют свои преимущества и недостатки.

Совершенствование технологии производства измерительных систем и стремление к уменьшению веса и габаритных размеров устройств привели к развитию новых направлений в конструкции и технологии изготовления измерительных систем – микроминиатюризации. Одним из новых динамично развивающихся направлений микроминиатюризации измерительных датчиков и систем является разработка микродатчиков и микросистем в области микросистемой техники.

Микросистемы различного применения можно характеризовать как «преобразователь», сочетание которых, объединённых в измерительные цепи, образуют измерительные микроприборы. Особые успехи в области микросистемной техники достигнуты в создании систем МОЭМС (микрооптроэлектромеханические системы) (Рисунок 1). Такие системы предназначены для контроля и анализа широкого спектра физических, технических и химических параметров. Разнообразие МОЭМС, применяемые в современных устройствах представляют собой высокоэффективные МОМС (микрооптомеханические системы), МОЭС (микропотоэлектрические системы) и МЭМС (микроэлектромеханические системы). Одним из наиболее развивающихся направлений являются МЭМС. Об актуальности этого направления развития измерительных систем можно судить по большому объему публикаций, исследований и разработок. [2, 3]

Рисунок 1 – Комбинации МОЭМС компонентов

Микроприборы (микродатчики) используют для фиксации измерений в широком спектре энергетических областей, с присущими им физическими величинами. Можно выделить группы микродатчиков для фиксации измерения разнообразных величин, таких как механические, электрические, оптические и т.д. Для каждой группы характерны определенные физические величины для измерений. Для механической области характерны такие физические величины как ускорение, скорость, положение, давление и сила. Для электрической - Напряжение, ток, нагрузка, сопротивление и емкость. Для тепловой области – энтропия и температура. Для оптической - электромагнитная интенсивность волны, фаза, длина волны, поляризация, коэффициент отражения, индекс преломления и коэффициент пропускания. Для химической - концентрация, состав, скорость реакции. Для магнитной - интенсивность поля, плотность потока, магнитный момент, проводимость.

Сердцем любого микродатчика является ЧЭ (чувствительный элемент), так называемый первичный преобразователь. Это элемент (компонент) микродатчика реагирующий на изменения измеряемой физической величины. Из рис.1 можно выделить 3 группы ЧЭ: механические, оптические и электронные. Соответственно можно определить микродатчики, выполненные по технологии МЭМС, как микромеханические, микрооптические и микроэлектронные приборы. Существенным в этих определениях является принадлежность ЧЭ к одной из энергетических областей.

Таким образом МЭМС – это не столько миниатюрные микросистемы, сколько промышленная технология, так же, как и МСТ (Микросистемная технлогия), которая является подмножеством МЭМС. В нее входят микродатчики, микроактюаторы, микроэлектроника и микроструктуры.

Микромеханические приборы по своей сути являются микроструктурами выполненными по технологии МЭМС с механически подвижным ЧЭ. К микромеханическим приборам относятся: микроакселерометры, включая датчики углового положения (ЧЭ – пробная масса); микродатчики давления (ЧЭ -мембрана); микрогироскопы (ЧЭ – вибрирующая масса). Это перспективные приборы современной микросистемной техники. Они характеризуются малыми массой и габаритами, низким потреблением электроэнергии и возможностью функционирования в жестких условиях эксплуатации. Микродатчики обнаруживают изменения в окружающей системе или среде, измеряя механические, тепловые, магнитные, химические или электромагнитные величины. Микроэлектроника обрабатывает эту информацию и сигнализирует микроактюаторам, чтобы они создали некоторую форму изменений по отношению к окружающей среде либо в самой системе.

МЭМС имеют размеры от нескольких микрометров до миллиметров имогут объединять в себе механические и электрические электронные компоненты. МЭМС состоит из механических микроструктур, микродатчиков, микроактюаторов и микроэлектроники, объединяемых на одном кремниевом чипе. Изготовление микроструктур возможно также из других материалов.

По технологии изготовления акселерометры

– пьезоэлектрические акселерометры;

– пьезорезистивные акселерометры;

– акселерометры на переменных конденсаторах.

Пьезоэлектрические акселерометры являются весьма распространёнными на сегодняшний день видом акселерометров. Благодаря очень широкому частотному диапазону, от несколько Гц до нескольких десятков кГц, и характерному диапазону чувствительности, а так же массогабаритным характеристикам и формам он хорошо подходит для решения задач тестирования и измерений, таких как удары или вибрации. Выходной сигнал может быть выражен как зарядом (Кл) или напряжением.

Пьезорезистивные акселерометры получили широкое применение за счёт хороших показателей надежности, долговечности и среднего времени наработки на отказ, а так же возможности функционирования в широком диапазоне температур. Существуют различные типы конструкций ЧЭ, который позволяют добиться хороших показателей для измерений ударных ускорений и вибраций. Еще одна область их применения – испытания на безопасность при столкновении. Пьезорезистивные акселерометры выделяются более широким диапазоном частот, от нескольких сотен Гц до нескольких сотен кГц), в то же время частотная характеристика может доходить до 0 Гц или оставаться неизменной, благодаря чему можно измерять сигнал большой продолжительности.

Емкостной акселерометр это датчик, основанный на использование емкостного преобразования. Именно емкостной метод является самым проверенным и надёжным методом преобразования перемещений в электрический сигнал. По выходному сигналу они схожи с пьезорезистивными акселерометрами, т.е. на выходе постоянное напряжение. Они отличаются высокой чувствительностью, узкой полосой пропускания и хорошей температурной стабильностью. Обычно погрешность в полном диапазоне рабочих температур не превышает 1.5%. Такой вид датчиков применяют для измерений низкочастотной вибрации, движения и фиксированного ускорения. Однако, как для любой радиоэлектронной аппаратуры, должна быть обеспечена достаточная надежность и устойчивость к воздействию электромагнитных импульсов, без ухудшения значений других значимых параметров, в том числе технологических [4, 5, 6, 7]. Также возможно применение искусственной нейронной сети типа GRNN [8, 9, 10], с целью получения интеллектуальных датчиков, способных выполнять прогнозирование простейших своих состояний.

Поэтому исследование и разработка надежных, высокочувствительных, стабильных емкостных акселерометров является актуальной задачей, требующей решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andreev P.G. Methods of calculating the strength of electric component of electromagnetic field in difficult conditions / Andreev P.G., Yurkov N.K., Kochegarov I.I., Grishko A.K., Yakimov A.N. // сборник: 2016 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2016 Conference Proceedings. 2017. С. 7878895.

2. Катыс П.Г., Катыс Г.П. Микродатчики, реализованные на основе МЭМС и МОЭМС // Микросистемная техника 2001.- №11- С.3-7.

3. Датчики для измерения параметров движения на основе MEMS-технологии. Часть 1. Инерциальные датчики средней точности. А. Тузов. //Электроника:наука, технология, бизнес. No1, 2011.

4. Grishko, A., Adnreev, P., Goryachev, N., Trusov, V., Danilova, E. Reliability control of complex systems at different stages of their life cycle. 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2018; Yekaterinburg; Russian Federation; 7-8 May 2018. DOI: 10.1109/USBEREIT.2018.8384589.

5. *Андреев П.Г.* Надежность и качество радиоэлектронной аппаратуры / Власова А.М., Андреев П.Г., Наумова И.Ю. // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 1. С. 313-314.

6. *Нагаев Т.Р.* Воздействие электромагнитных импульсов на радиоэлектронную аппаратуру / *Т.Р., Нагаев, П.Г.Андреев, М.А. Комзалова* // Современные информационные технологии. 2018. № 28 (28). С. 48-51.

7. *Андреев П.Г.* Проблема обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / *Н.К. Юрков, П.Г. Андреев, А.С. Жумабаева* // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т 1. С. 201-203.

8. Андреев П.Г. Использование искусственной нейронной сети типа GRNN в задачах прогнозирования / *Андреев П.Г., Андреева Т.В., Юрков Н.К.* // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2017. Т. 2. С. 63-66.

9. *Гришко А.К.* Прогнозирование и оптимизация управления процессов проектирования сложных технических систем в масштабе реального времени / *А.К. Гришко, А.В. Лысенко, С.А. Моисеев* // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1 (21). С. 40-45.

10. *Андреев П.Г.* Методы оценки технологичности конструкции РЭС/ *П.Г. Андреев, Н.К. Юрков, В.Я.Баннов* Труды международного симпозиума Надежность и качество. – Т. 2. – 2008. – С. . 129-131.

11. Гришко А. К. Структурная оптимизация проектных решений в условиях многокритериальности и неопределенности / А. К. Гришко, Д. И. Нефедьев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2019. – Т. 2. – С. 319-322.

12. Grishko A., Yurkov N., Goryachev N. Reliability Analysis of Complex Systems Based on the Probability Dynamics of Subsystem Failures and Deviation of Parameters. 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). Polyana, Svalyava, (Zakarpattya), Ukraine, February 21 - 25, 2017, pp. 179-182. DOI: 10.1109/CADSM.2017.7916109.

УДК 681.51

Диго Г.Б., Диго Н.Б.

ФГБУН «Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской Академии наук» (ИАПУ ДВО РАН), Владивосток, Россия

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Анализируются проблемы, возникающие при управлении эксплуатацией уникальных технических систем ответственного назначения. Поскольку основные трудности оценки и прогнозирования их состояния обусловлены дефицитом информации о закономерностях случайных процессов изменения параметров, отсутствием или недостатком информации о возмущающих воздействиях, влиянии внешних факторов на протекающие в них процессы, рассматривается задача принятия решений в условиях неопределенности, реализующая обеспечение гарантированного результата. Для этого используются алгоритмы поисковой оптимизации, допускающие распараллеливание вычислительных процессов и не использующие информацию о производных оптимизируемой функции.

Ключевые слова:

ПРОГНОЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, СИСТЕМА ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ПОИСКОВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ, БЕЗГРАДИЕНТНЫЕ МЕТОДЫ

Введение

Уникальные технические системы (УТС) ответственного назначения, как правило, изготавливаемые в небольшом числе экземпляров и эксплуатируемые в отличающихся условиях, реализуя экстремальные технологические операции [1], могут стать источником чрезвычайных техногенных ситуаций, приводящих к серьезным последствиям. Их отказы связаны с выработкой ресурсов и потерей работоспособности. Предотвращение аварий на системах ответственного назначения может быть достигнуто за счет уменьшения возможности отказов и техногенных рисков при использовании, в частности, прогноза динамики изменения их технического состояния на основе мониторинга.

Прогнозирование процессов изменения параметров позволяет рационально планировать проведение регламентных работ, ремонт и замену техники, уточнять объемы и сроки контроля, учитывать особенности применения техники в различных условиях работы и т.д., но основные трудности оценки и прогнозирования состояния обусловлены дефицитом информации о закономерностях случайных процессов изменения параметров. Приходится учитывать отсутствие или недостаток информации о возмущающих воздействиях, влияние внешних факторов на протекающие в них процессы. Поскольку независимо от выбранного математического представления неопределенность присутствует в описании динамики, целей, ограничений, требуется их тщательное исследование. Очевидно, что в таких условиях управление УТС ответственного назначения можно рассматривать как проблему принятия решений в условиях неопределенности, реализующую обеспечение гарантированного результата. Для ее решения могут использоваться функционально-параметрический подход (ФП-подход) теории надежности [2], системный анализ, методы прогнозирования, статистической обработки информации, многовариантного анализа, поисковой оптимизации, ориентированные на технологию параллельных и распределенных вычислений.

При использовании методов поисковой оптимизации на основе технологии распараллеливания вычислений возможны различные стратегии, среди них – применение параллельных аналогов методов случайного поиска и параллельного аналога метода сканирования [3, 4]. С учетом вероятностного характера критерия оптимальности, дефицита информации о случайных закономерностях процессов изменения параметров систем, нелинейности целевой функции и ограничений на нее в реальных условиях такой подход для каждой конкретной задачи обеспечивает подбор своей последовательности шагов из разных методов, приводящей к наиболее эффективному результату на всех этапах поиска. Поскольку среди методов поисковой оптимизации нет универсальных, представляется целесообразным использование многометодной технологии и алгоритмов, допускающих распараллеливание вычислительных процессов.

Технология управления техническим состоянием УТС должна включать следующие основные элементы [5]:

- мониторинг состояния критических параметров и анализ остаточного ресурса;

- прогнозирование остаточного ресурса на основе априорной информации и данных непрерывного или дискретного контроля в заданные моменты времени;

- выбор стратегии эксплуатации, гарантирующей сохранение работоспособности на определенном (заданном или рассчитанном) интервале эксплуатации.

Для реализации этой технологии необходимы соответствующие алгоритмические и программные средства, обеспечивающие многоэтапное уточнение модели всего процесса, прогнозирование процессов приближения отказов, выбор рациональных и гарантированных стратегий, адекватных поставленной цели и уровню неопределенности.

Анализируются проблемы, возникающие при прогнозировании технического состояния и управлении эксплуатацией сложных систем ответственного назначения, на основе поисковых методов оптимизации, не использующих информацию о производных.

Проблемы при прогнозе технического состояния систем ответственного назначения

В современной теории управления фундаментальные исследования и практические приложения направлены на сложные технические объекты с такими характеристиками как многомерность, нелинейность, неопределенность. В большинстве реальных задач надежности, прогнозирования, технического обслуживания, идентификации неопределенность вызывается недостаточной теоретической изученностью объектов исследования, подверженностью их влиянию неконтролируемых возмущений с неизвестными характеристиками, свойствами окружающей их внешней среды. Из-за отсутствия, недостаточности или недостоверности исходных данных при решении таких задач нужны новые подходы, учитывающие вероятностный характер воздействий и параметров. Приходится рассматривать один или несколько альтернативных вариантов с учетом возможных ситуаций и использовать аппарат теории принятия решений, обеспечивающий поиск наилучшего решения и преодоление вычислительной трудоемкости методов и алгоритмов нахождения таких решений [6]. При различных видах неопределенности, одна из этих проблем может быть преодолена с помощью многометодных и многовариантных технологий, а вторая – путем использования параллельных вычислений.

Очевидно, что при прогнозировании момента наступления отказа должны учитываться индивидуальные особенности систем и условия их эксплуатации. Для этого нужна индивидуальная стратегия, использующая в наибольшей степени ресурс каждой конкретной системы. Кроме того, необходимо знание текущей информации о действительном техническом состоянии конкретной системы, непрерывный или дискретный контроль и анализ ее состояния для прогноза изменения параметров по результатам контроля. Прогнозирование состояния по наблюдениям за конкретной системой подразумевает наличие известных априорных характеристик процессов, протекающих в аналогичных системах (модели случайного процесса дрейфа параметров), и данных о характеристиках ошибок контроля и помех. Исходной информацией для принятия решения о техническом состоянии эксплуатируемой системы являются измеренные значения ее внутренних или выходных параметров (оценки параметров). Но специфика эксплуатации многих из УТС такова, что даже при непрерывном контроле их состояния техническое

обслуживание становится невозможным в течение определенных промежутков времени.

Некоторые подходы к решению задачи индивидуального прогнозирования технического состояния УТС и планирования их эксплуатации при дефиците и неполной достоверности исходной информации, обеспечивающие достаточно надежные результаты, рассмотрены в работах [1, 4, 7]. Одна из возможных стратегий, основанная на ФП-подходе, использует методы поисковой оптимизации. В соответствии с ней техническое состояние в любой момент времени определяется конечным набором некоторых переменных (параметров системы), отказ системы есть следствие эксплуатационных отклонений параметров от исходных (номинальных, расчетных) значений, а формой проявления отказа является выход параметров за пределы области работоспособности. Поскольку среди методов поисковой оптимизации не существует универсальных, для конкретного класса задач приходится выбирать тот или иной метод на основе имеющейся априорной информации или некоторых допущений, либо применять сразу несколько. Поэтому на практике эффективен подход, основанный на многометодной технологии.

Методы поисковой оптимизации в условиях неопределенности

Методы поисковой оптимизации, именуемые еще методами прямого поиска или методами нулевого порядка, используют только значения целевой функции, им не требуется информация о производных, которые часто бывает невозможно получить. Оптимизация на их основе имеет итерационный характер и сводится к нахождению последовательности векторов, обеспечивающей получение оптимального значения целевой функции. В качестве начального приближения может быть взята произвольная точка, но обычно стремятся выбирать ее как можно ближе к оптимуму, используя всю имеющуюся информацию о поведении оптимизируемой функции.

Методы прямого поиска отличаются способами выбора направления вектора оптимизации и его длины, величины шага поиска, с помощью которых осуществляется выбор направления уменьшения (возрастания) целевой функции для приближения к ее экстремуму. Они включают детерминированный и случайный поиск и позволяют исследовать оптимизационные задачи разной размерности. Направление поиска может быть известно заранее (детерминированные методы) или выбираться случайным образом (методы случайного поиска). Переход от точки к точке заключается в выборе направления движения на основе локальной информации о поведении целевой функции в их окрестностях, правил метода и определении шага вдоль выбранного направления. В полученной новой точке, если не выполнены условия останова, повторяются описанные операции.

Использование поисковой оптимизации обусловлено заданием целевой функции и условий работоспособности не в аналитическом виде, а таблично, с помощью программ моделирования, алгоритмов решения дифференциальных или нелинейных алгебраических уравнений. Отсутствие универсальных методов решения нелинейных задач оптимизации в условиях неопределенности вынуждает связывать выбор конкретного метода с особенностями решаемой задачи, поскольку метод, удачный для решения одной из них, может быть неудачным для решения других. Именно поэтому на практике эффективен подход, основанный на многометодной технологии. Разработанные на его основе алгоритмы могут реализовываться в виде параллельных итерационных процессов с выбором лучшего приближения для продолжения оптимизации. Итерационный процесс продолжается до достижения требуемой точности.

При использовании стратегии, основанной на ФП-подходе, оптимизируемая функция обычно характеризуется такими свойствами как нелинейность, недифференцируемость, многоэкстремальность, овражность, слабая формализованность, высокая вычислительная сложность, высокая размерность пространства поиска и т.д. Это, с одной стороны, является причиной отсутствия универсальных алгоритмов решения таких задач, а с другой стороны, способствует появлению большого числа алгоритмов, их модификаций и гибридизаций, параллельных версий. Для эффективного решения задач условной глобальной оптимизации в настоящее время разработан большой класс стохастических поисковых алгоритмов оптимизации, которые, согласно [8], в разных публикациях называют поведенческими, интеллектуальными, инспирированными природой, многоагентными, популяционными, эволюционными, роевыми, и т. д.

Одним из путей уменьшения временных затрат при решении задач условной глобальной оптимизации является распараллеливание используемых методов, среди них применение параллельных аналогов методов случайного поиска, относящихся к методам иерархической оптимизации, параллельного аналога метода сканирования, оригинальная модификация алгоритма роя пчел из методов роевого интеллекта [1, 4, 7, 9].

В процедурах случайного поиска используются алгоритмы, имеющие простую и легко реализуемую структуру, они малочувствительны к росту размерности множества оптимизации и обладают потенциальным параллелизмом. Метод сканирования легко поддается распараллеливанию по данным. При этом верхняя граница коэффициента сокращения временных затрат на оптимизацию по сравнению с последовательным алгоритмом сканирования равна числу используемых процессоров.

Для преодоления основных трудностей, связанных с дефицитом априорной информации о свойствах целевой функции и заданных ограничениях, предлагается использовать идеи и методы эволюционных вычислений (ЭВ). Адаптивные версии эволюционных алгоритмов, учитывающие предысторию поиска и проблемно-ориентированную информацию об области поиска, представляются для этого наиболее перспективными [10]. Их отличительной особенностью является возможность одновременного анализа различных областей пространства решений. Это, в свою очередь, обеспечивает нахождение новых областей с лучшими значениями целевой функции за счет объединения субоптимальных решений из разных множеств решений, а специфика работы эволюционных алгоритмов позволяет накапливать и использовать изменяющиеся во времени знания об исследованном пространстве поиска.

Прогнозирование технического состояния объекта на последующий (предстоящий) временной интервал может быть по данным, полученным путем мониторинга, или по данным планируемого эксперимента, а его целью может быть как состояние работоспособности, так и определение интервала времени, сохраняющее зафиксированное в данный момент его состояние. На достоверность прогноза влияет имеющаяся информация об условиях, в которых функционирует объект, и чем больше неучтенных внешних факторов, влияющих на его поведение, тем труднее приблизиться к точному прогнозу.

В общем виде алгоритмы ЭВ для поиска решения оптимизационной задачи, состоит в следующем. Альтернативные решения трактуются как особи, степень приспособленности которых определяется условиями задачи, а для их эволюции применяются генетические операторы скрещивания, мутации и редукции (селекции или отбора) [10].

Для сложных прикладных задач высокоэффективны гибридные алгоритмы. В [11] приведены схемы поиска максимума алгоритмически заданных целевых функций с нелинейными функциями-ограничениями на параметры, а в [12, 13] - различные способы гибридизации поисковых алгоритмов.

Заключение

Проанализированы проблемы, возникающие при управлении эксплуатацией уникальных технических систем ответственного назначения. Среди них дефицит информации о закономерностях случайных процессов изменения параметров, отсутствие или недостаток информации о возмущающих воздействиях, влияние внешних факторов на протекающие

в них процессы. В таких условиях рассмотрена задача принятия решений в условиях неопределенности, реализующая обеспечение гарантированного результата и предложены методы прямого поиска, допускающие распараллеливание вычислительных процессов и использующие многометодную технологию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов О.В. Мониторинг и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения // Информатика и системы управления. – 2011. № 2(28). – С. 4-15.

2. Абрамов О.В. Возможности и перспективы функционально-параметрического направления теории надежности // Информатика и системы управления. 2014. № 4(42). – С. 64-77.

3. Абрамов О.В. Некоторые особенности задачи оптимального параметрического синтеза // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 23-31 мая, г. Пенза. – Пенза: ПГУ, 2011. – Т. 1. – С. 3-5.

4. Абрамов О.В. Алгоритм оценки и прогнозирования остаточного ресурса сложных технических систем // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 27 мая – 3 июня, г. Пенза. – Пенза: ПГУ, 2013. – Т. 1. – С. 5-6.

5. Абрамов, О.В. Технология предупреждения отказов технических систем ответственного назначения [Электронный ресурс]: труды XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. / О.В. Абрамов. – Электронные данные. – М: ИПУ, 2014. – 1 эл. опт. Диск (DVD- ROM). – С. 7540-7545.

6. Озерный В.М. Принятие решений. Обзор // Автоматика и телемеханика, №11, 1971. – С. 106-121.

7. Абрамов О.В. Управление состоянием сложных технических систем // Труды международного симпозиума "Надежность и качество 2010", Пенза: ПГУ, 2010. т. I, С. 24-26.

8. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. . — 446с.

9. Аноп М.Ф., Катуева Я.В., Михаличук В.И. Алгоритмы роя пчел и частиц в задаче обеспечения надежности по постепенным отказам // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. Журн. 2015. № 1. DOI: 10.7463/0115.0755194.

10. Родзин С.И., Родзина О.Н. Поиск оптимальных решений комбинаторных задач: теория, эволюционные алгоритмы и их приложения для проблемно-ориентированных информационных систем // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2014. –№ 4(19). – С. 18-33.

11. Диго Г.Б., Диго Н.Б. Применение эволюционных вычислений при управлении параметрической надежностью аналоговых технических устройств и систем // Информатика и системы управления. – 2018. – №4(58). – С.70-81.

12. Luke S. Essentials of Metaheuristics. A Set of Undergraduate Lecture Notes. Zeroth Edition. Online Version 0.5. October, 2009 (http://cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/).

13. Сулимов В. Д., Шкапов П. М. Применение гибридных алгоритмов глобальной оптимизации к экстремальным задачам для гидромеханических систем // Наука и образование: Научное издание МГТУ им Н.Э Баумана. – 2013. №11. С.141-158.

УДК 681.5.015.23

Назаров Д.А.

ФГБУН «Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской Академии наук» (ИАПУ ДВО РАН), Владивосток, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДЕГРАДАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ

Рассматривается задача проектирования технических систем с учетом параметрического дрейфа, возникающего в процессе эксплуатации. Для анализа допустимых параметрических отклонений используется информация о конфигурации области работоспособности в пространстве внутренних параметров системы. В качестве способа описания области работоспособности используется модель дискретного представления многомерных областей. На примере схемы делителя напряжения и данных о деградации резисторов и конденсаторов рассматривается задача анализа дрейфа параметров. С помощью программной системы нахождения и использования областей работоспособности приводится визуализация сечений области работоспособности по текущим значениям параметров и анализируется тенденция параметрического дрейфа.

Ключевые слова:

ОБЛАСТЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ, ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ДРЕЙФ, ДЕГРАДАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ, ЭЛЕКТРОННАЯ СХЕМА

Введение

Проектирование технических систем с учетом требований надежности требует анализа влияния на их функционирование как случайных параметрических возмущений, так и постепенного дрейфа параметров элементов под влиянием факторов внешней среды и внутренних физико-химических процессов старения. Одним из подходов к анализу параметрических возмущений является использование *областей работоспособности* (ОР) – многомерных областей в пространстве значений параметров элементов системы (*внутренних параметров*), при которых эта система считается работоспособной. Такой подход характерен для функционально-параметрического подхода в теории надежности, когда исследуемая система описывается в виде функциональных зависимостей выходных характеристик от параметров составляющих ее элементов [1].

Информация о конфигурации ОР, как правило, неизвестна. Кроме того, описание модели системы далеко не всегда позволяет получить аналитические выражения для представления ОР, поскольку для достаточно сложных систем зависимости выходных параметров от внутренних чаще задаются алгоритмически, в виде численного решения систем дифференциальных уравнений [2]. В этом случае используется метод многомерного зондирования пространства внутренних параметров. Задаче аппроксимации и построения ОР в пространстве внутренних параметров посвящено множество работ, обзоры которых приведены в [3, 4]. В данной статье используется подход, основанный на представлении многомерной фигуры дискретным множеством элементарных гиперпараллелепипедов (ЭГ), заданных узлами многомерной регулярной сетки [4, 5].

ОР используется, главным образом, для снижения вычислительных затрат при решении ряда задач, связанных с выбором оптимальных в определенном смысле значений внутренних параметров по стохастическим критериям. Данные о границах и форме ОР могут быть также использованы для оптимизации номинальных значений параметров по детерминированному критерию типа запаса работоспособности. Такой критерий используются при недостатке информации о дрейфе параметров во времени, и наиболее целесообразным решением в этом случае считается выбор рабочей точки внутри ОР, максимально удаленной от границы области [4, 6, 7]. В случае доступности информации о тенденциях дрейфа параметров элементов, номинальные значения параметров могут быть оптимизированы в определенном смысле с учетом этих тенденций и конфигурации ОР. В данной работе рассматривается подход к анализу деградационных изменений параметров в рамках программно-алгоритмической системы нахождения и использования областей работоспособности (СНИОР) [8].

Для понимания описываемого в работе подхода к анализу параметрических отклонений рассмотрим способ представления и основную идею алгоритма построения ОР. Под построением ОР понимается построение многомерной фигуры известной конфигурации, аппроксимирующую истинную ОР в пространстве внутренних параметров.

Задача построения области работоспособности

Пусть исследуемая система обладает m выходными характеристиками, интересующими потребителя:

$$\boldsymbol{y} = (y_1, y_2, \ldots, y_m), y_i \in R, \quad (1)$$

каждая из которых в любой момент времени зависит от набора текущих значений внутренних параметров:

$$\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, \ldots, x_n), x_i \in R \quad (2)$$

в виде зависимостей:

$$y_i = y_i(\boldsymbol{x}), i = 1,2,\ldots,m. \quad (3)$$

Выражения (3) представляют собой собственно модель системы.

На выходные характеристики (1), как правило, накладываются ограничения, указываемые в спецификации к системе или устройству:

$$y_i^{\min} \le y_i(\mathbf{x}) \le y_i^{\max}, \forall i = 1,2,\ldots,m, \quad (4)$$

которые называются *условиями работоспособности* (УР), поскольку определяют состояние работоспособности системы или состояние отказа. Эти ограничения формируют в пространстве внутренних параметров область:

$$D_x = \{\mathbf{x} \in R^n : y_i^{\min} \le y_i(\mathbf{x}) \le y_i^{\max}, \forall i = 1,2,\ldots,m\} \quad (5)$$

которая называется областью работоспособности системы и, как можно видеть, представляет собой множество точек пространства внутренних параметров, при которых система находится в работоспособном состоянии.

В данной работе рассматривается способ построения ОР на основе аппроксимации многомерной фигуры дискретным множеством элементарных гипер-параллелепипедов (ЭГ), заданных узлами регулярной сетки, и методе многомерного зондирования на этой сетке.

Построение ОР выполняется внутри ограничивающего бруса B, заданного интервалами:

$$B = \{[x_{i\min}, x_{i\max}], i = 1,2,\ldots,n\}. \quad (6)$$

В качестве этого бруса может выступать как брус допусков на внутренние параметры, так и описанный вокруг ОР брус, найденный методом Монте-Карло [5]. Каждый диапазон $[x_{i\ \min}, x_{i\ \max}]$, $i = 1,2,\ldots,n$ внутри бруса B разбивается эквидистантно на q_i интервалов-квантов. Их пересечения формируют узлы сетки, которые являются вершинами ЭГ. Каждый ЭГ задается набором n целочисленных индексов $(k_1, k_2, \ldots, k_n)$, $k_i = 1, 2, \ldots, q_i$. По этим индексам, зная диапазоны ограничивающего бруса (6) и количества квантов q_i можно однозначно восстановить геометрические характеристики ЭГ.

$$\begin{aligned} x_{i\min}^{k_i} &= x_{i\min} + h_i \cdot (k_i - 1), \\ x_{i\max}^{k_i} &= x_{i\min}^{k_i} + h_i = x_{i\min} + h_i \cdot k_i \end{aligned}, \quad (7)$$

где $h_i = (x_{i\ \max} - x_{i\ \min}) / q_i$ – шаг сетки по каждому параметру внутри бруса B.

В центре каждого ЭГ выбирается точка-представитель:

$$x_r(k_1, k_2, \ldots, k_n) = \left(\frac{x_{1\min}^{k_1} + x_{1\min}^{k_1}}{2}, \ldots, \frac{x_{n\min}^{k_n} + x_{n\min}^{k_n}}{2}\right) \quad (8)$$

для которой вычисляются выходные характеристики системы (1). Если полученные выходные характеристики удовлетворяют ограничениям (4), то ЭГ с индексами $(k_1, k_2, \ldots, k_n)$ присваивается признак «1», противном случае – «0». Таким образом, для хранения признаков принадлежности ОР каждого ЭГ используется *множество индикаторов* (МИ):

$$S = (s_1, s_2, \ldots, s_R), \quad (9)$$

где $R = q_1 \cdot q_2 \cdot \ldots \cdot q_n$ – количество ЭГ, s_p, $p = 1, 2, \ldots, R$ – результат вычисления функции принадлежности:

$$\chi(k_1, k_2, \ldots, k_n) = \begin{cases} 1, y_{j\min} \le y_j(x_r(k_1, k_2, \ldots, k_n)) \le y_{j\max}, \ j = 1,2,\ldots,m \\ 0, y_{j\min} > y_j(x_r(k_1, k_2, \ldots, k_n)) \vee y_{j\max} < y_j(x_r(k_1, k_2, \ldots, k_n)) \end{cases} \quad (10)$$

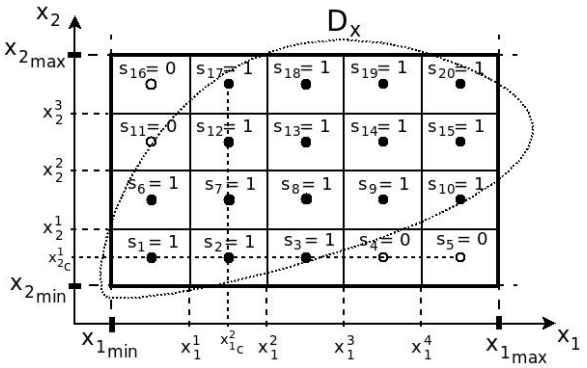
Между индексом p элемента s_p множества индикаторов S и набором индексов $(k_1, k_2, \ldots, k_n)$ существует взаимнооднозначное соответствие [4]:

$$p(k_1, k_2, \ldots, k_n) = k_1 + q_1 \cdot (k_2 - 1) + q_1 q_2 \cdot (k_3 - 1) + \cdots + q_1 q_2 \ldots q_{n-1}(k_n - 1), \quad (11)$$

Таким образом, модель дискретного представления ОР описывается четверкой:

$$G_R = (n, B, Q, S), \quad (12)$$

где, n – размерность пространства внутренних параметров, B – ограничивающий брус (6), $Q = (q_1, q_2, \ldots, q_n)$ – вектор с количеством квантов по каждому параметру, S – множество индикаторов принадлежности каждого ЭГ в соответствии с функцией (10). Построение ОР на основе этой модели состоит в вычислении всех элементов множества S индикаторов принадлежности. На рисунке 1 проиллюстрирован принцип построения двумерной ОР на основе модели (12).



$Q_1 = 5, Q_2 = 4$

S = (1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1)

Рисунок 1 - Дискретное представление области работоспособности

Имея представление ОР на основе модели (12) можно выполнять статистические испытания с вариацией внутренних параметров при существенно меньших вычислительных затратах, поскольку нет необходимости прибегать к моделированию системы с целью проверки выполнения УР (4). Проверка нахождения произвольной точки $x^* = (x_1^*, x_2^*, \ldots, x_n^*)$ в ОР сводится к нахождению индексов соответствующего ЭГ и проверке его состояния в множестве индикаторов (9). Индексы ЭГ вычисляются следующим образом:

$$k_i^* = \left\lfloor \frac{x_i^* - x_{i\min}}{h_i} \right\rfloor, \forall i = 1,2,\ldots,n. \quad (13)$$

Для полученного набора индексов, используя выражение (11), вычисляется номер элемента массива индикаторов $p(k_1^*, k_2^*, \ldots, k_n^*)$ и проверяется его состояние: если $s_p = 1$, то точка x^* находится внутри ОР, если $s_p = 0$, то заданная точка находится вне области.

Исследование деградационных изменений внутренних параметров с использованием ОР основывается на проверке вхождения текущей реализации набора параметров в эту область. Данная операция в большинстве случаев требует гораздо меньше вычислительных затрат, чем расчет модели системы (3) с целью проверки соответствия выходных параметров УР (4). В рамках имитации параметрического дрейфа, порождение новой реализации вектора внутренних параметров осуществляется либо из имеющейся статистики реальных измерений, либо использованием известных законов деградации параметров для каждого конкретного элемента.

Учет деградационных изменений параметров для оптимального выбора номиналов

Изучению процессов деградации параметров электронных компонентов посвящено огромное количество работ, и с развитием и появлением новых элементов, основанных на новых материалах, количество этих исследований вряд ли уменьшится. Процесс дрейфа параметров, особенно в нормальных условиях, обычно протекает довольно длительное время, что создает определенные трудности в выявлении статистически устойчивых закономерностей и построении актуальных моделей. В этом случае часто применяют ускоренные испытания, подвергая испытуемые объекты экстремальным агрессивным воздействиям основных факторов внешней среды: повышенная температура, повышенная влажность, излучения. На основе полученных данных строят деградационные модели [9, 10] в том числе и с использованием процессов случайных блужданий, например, винеровский процесс или нашедший широкое применение в имитации случайных параметрических возмущений гамма-процесс [10].

В данной работе на примере делителя напряжения рассматривается процедура исследования тенденций дрейфа электронных компонентов на основе изученных и описанных явлений деградационных изменений конденсаторов [11, 12] резисторов [13] с помощью дискретного представления ОР (12).

Пример

Рассмотрим делитель напряжения, принципиальная схема которого изображена на рисунке 2 [3].

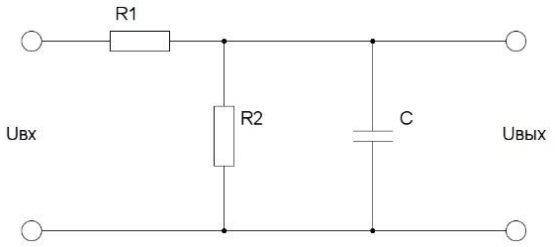


Рисунок 2 - Принципиальная схема делителя напряжения

Внутренними параметрами делителя являются:

$x_1 = R_1$ – сопротивление резистора R_1, Ом;

$x_2 = R_2$ – сопротивление резистора R_2, Ом;

$x_3 = C$ – емкость конденсатора C, Ф;

$x_4 = U_{вх}$ – входное напряжение, В.

Выходными характеристиками этого делителя являются:

$y_1 = \tau$ – постоянная времени перезаряда конденсатора C;

$y_2 = P$ – мощность рассеяния, Вт;

$y_3 = U_{вых}$ – напряжение на выходе делителя, В.

Выходные характеристики связаны с параметрами элементов выражениями [3]:

$$y_1 = \frac{CR_1R_2}{R_1+R_2}, \quad y_2 = \frac{U_{BX}^2}{R_1+R_2}, \quad y_1 = \frac{U_{BX}^2R_2}{R_1+R_2}.$$

На выходные характеристики налагаются условия работоспособности:

$$y_1 < 0.5\cdot10^{-6}; \quad y_2 < 0.1; \quad 4 \le y_3 \le 6.$$

ОР построена внутри описанного гиперпараллелепипеда, определенного методом Монте-Карло:

$$1.004 \le x_1 \le 1499.97 \text{ Ом};$$

$$176.382 \le x_2 \le 1500 \text{ Ом};$$

$$1\cdot10^{-10} \le x_3 \le 9.99984\cdot10^{-9} \text{ Ф};$$

$$4.00602 \le x_4 \le 15.4227 \text{ В}.$$

Номинальные значения внутренних параметров имеют следующие значения:

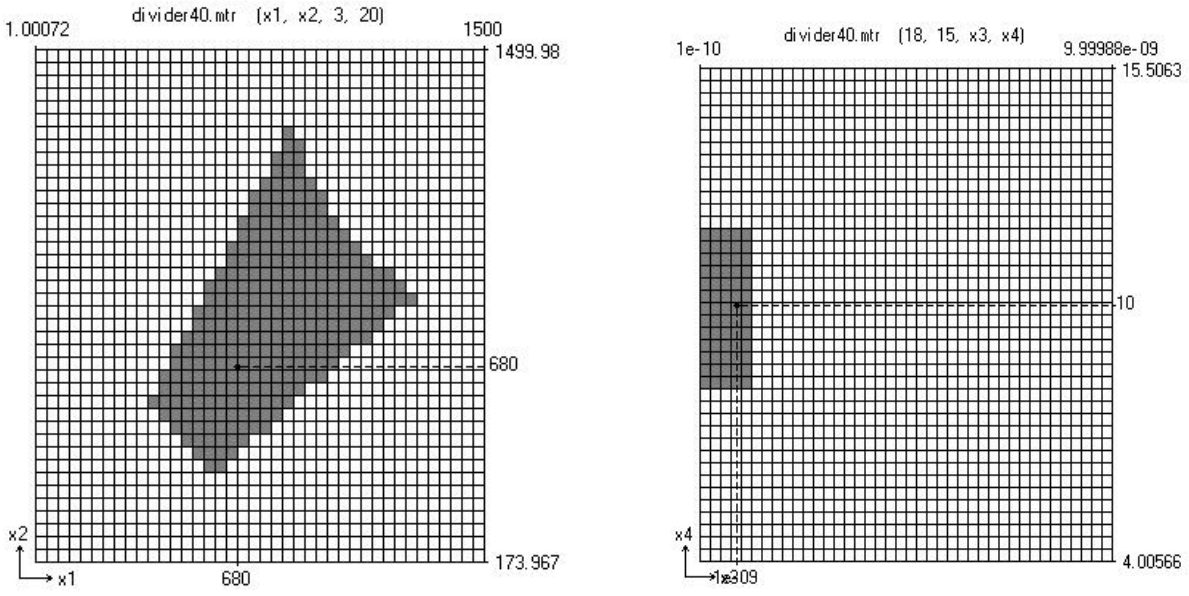
R_1=680 Ом; R_2 = 680 Ом; C = $1\cdot10^{-9}$ Ф; $U_{вх}$=10 В

Рассмотрим данные по дрейфу параметров элементов схемы, описанные в работах [11 - 13]. Для резисторов фиксировалось время, за которое величина сопротивления изменялась на 1% номинала. Эти временные интервалы были совмещены с данными по дрейфу значения емкости конденсатора. В таблице 1 рассчитаны значения параметров схемы на основании использованных данных о тенденции дрейфа.

Данные о деградационных изменениях параметров во времени Таблица 1

Наработка, час	R_1, Ом	R_2, Ом	C, Ф
0	680	680	$1\cdot10^{-9}$
500	687	687	$9{,}7\cdot10^{-10}$
1000	694	694	$9{,}6\cdot10^{-10}$
3000	700	700	$9{,}2\cdot10^{-10}$

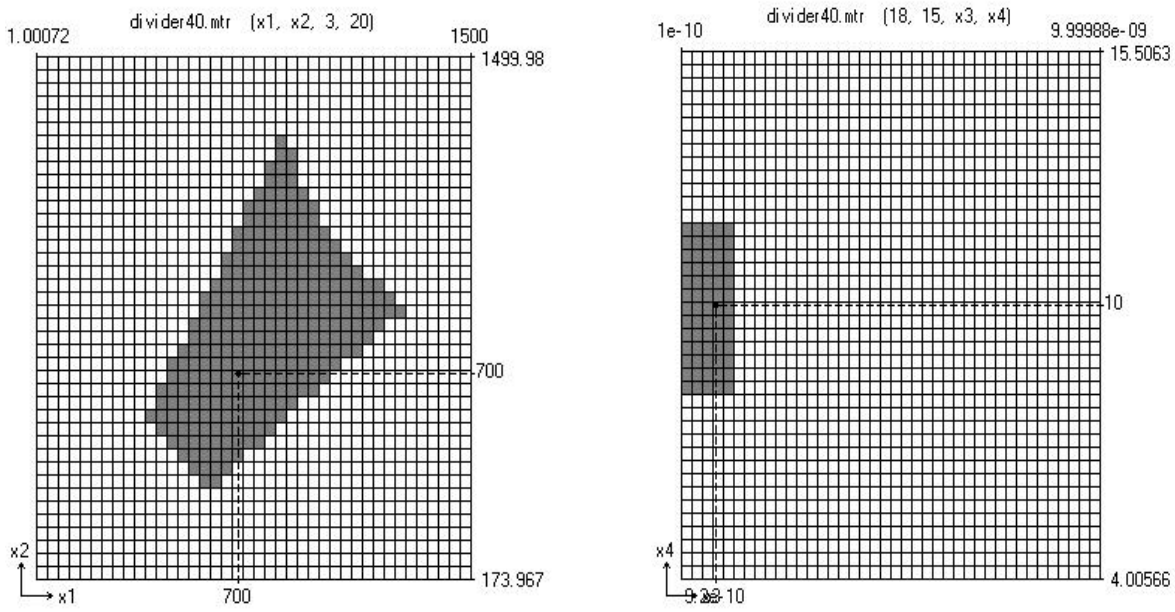
С помощью программного комплекса СНИОР была проведена визуализация рабочей точки на сечениях дискретного представления ОР с дискретизацией диапазонов варьирования внутренних параметров в 40 квантов. На рисунках 3 и 4 показаны двумерные сечения ОР с визуализацией параметрического дрейфа от начального состояния до значений при наработке в 3000 часов, указанных в таблице 1.



а) б)

Рисунок 3 - Сечения ОР с отображением начальных значений параметров при t = 0

а) Плоскость параметров R_1, R_2; б) Плоскость параметров C, $U_{вх}$



а) б)

Рисунок 4 – Сечения ОР с отображением значений параметров при t = 3000 ч
а) Плоскость параметров R_1, R_2; б) Плоскость параметров C, $U_{вх}$

Как можно видеть из визуализации процесса дрейфа на рисунках 3 и 4, номиналы параметров выбраны с достаточно большим запасом, обеспечивающим сохранение работоспособного состояния системы даже при существенных параметрических возмущениях. Учитывая описанные в Таблице 1 тенденции параметрического дрейфа, очевиден существенный запас работоспособного состояния системы, а также возможна коррекция значений резисторов в сторону уменьшения без потери работоспособности в рамках указанных условий по выходным параметрам.

Заключение

Рассмотрена проблема учета деградационных изменений параметров при решении задачи выбора их номинальных значений с учетом требований надежности. Особенностью предложенного в работе решения является использование области допустимой вариации внутренних параметров – области работоспособности. На приведенном примере можно видеть достаточно большой запас для дрейфа в случае сохранения тенденции как для резисторов, так и для конденсатора. Показано, что применяя различные способы симуляции параметрического дрейфа, применение информации о конфигурации области работоспособности позволяет оценить имеющийся запас работоспособного состояния системы до наступления отказа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов О.В. Возможности и перспективы функционально-параметрического направления теории надежности // Информатика и системы управления. 2014. № 4(42). – С. 64-77.

2. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования / И.П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.

3. Саушев А.В. Области работоспособности электротехнических систем / А.В. Саушев. – Санкт-Петербург: Политехника, 2013.

4. Назаров Д.А. Использование областей работоспособности для оптимального выбора номиналов параметров // Информатика и системы управления. – 2011. – №2(28). – С. 59 – 69.

5. Катуева Я.В., Назаров Д.А. Аппроксимация и построение областей работоспособности в задаче параметрического синтеза // Международный симпозиум «Надежность и качество»: Сб. науч. трудов. – Пенза: ПГУ. – 2005. С. 130 - 134.

6. Катуева Я.В., Назаров Д.А. Методы параметрического синтеза на основе сеточного представления области работоспособности // Информационные технологии. – 2015. – №9. Том 21. С. 651 — 656.

7. Абрамов О.В. Алгоритм оценки и прогнозирования остаточного ресурса сложных технических систем // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 27 мая – 3 июня, г. Пенза. – Пенза: ПГУ, 2013. – Т. 1. – С. 5-6.

8. Абрамов О.В., Назаров Д.А. Программно-алгоритмический комплекс построения, анализа и использования областей работоспособности // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2015. – №2. С. 3 – 13.

9. Еремина И.Н. Прогнозирование срока службы изделий на основе активационных моделей процессов деградации функциональных параметров // Надежность и качество: труды междун. симпоз. в 2-х томах. – Пенза. – 2007. – Том 2. – С. 18-21.

10. Четвертакова Е.С. Исследование деградационных гамма-моделей со случайным и фиксированным эффектами // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 6. С. 120-128. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-6-120-128

11. Anunay Gupta, Om Prakash Yadav, Douglas DeVoto, and Joshua Major. "A Review of Degradation Behavior and Modeling of Capacitors." // Proceedings of the ASME 2018 International Technical Conference and Exhibition on Packaging and Integration of Electronic and Photonic Microsystems. ASME 2018. San Francisco, California, USA, 2018. DOI: 10.1115/IPACK2018-8262.

12. C. Kulkarni, G. Biswas, X. Koutsoukos, K. Goebel, and J. Celaya. "Experimental Studies of Ageing in Electrolytic Capacitors," // Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, 2010.

13. C. Park, and W. Padgett, "Accelerated degradation models for failure based on geometric brownian motion and gamma processes", Lifetime Data Analysis, 11(4), 2005. Pp. 511–527.

14. Старостин И.Е., Быков В.И. Анализ и моделирование в сосредоточенных параметрах динамики реальных физико-химических процессов методами современной неравновесной термодинамики с использованием системного анализа // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Пенза: ПГУ, 2018. 1 т. С. 210 – 214.

УДК 62-799

Кривопалов Д.М., Юркевич Е.В., Крюкова Л.Н.
ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН», Москва, Россия

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРИОБРЕТЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Поставлена проблема оперативной оценки надежности сложных программно-технических средств. Как этап предложен механизм глубокой интеграции программного обеспечения в единый контур управления с обновлением принимаемых решений в реальном времени в зависимости от задач, решаемых бортовым комплексом управления. Для интенсификации оперативного расчета надежности предложено использование библиотеки функций с алгоритмами, определяющими взаимодействие элементов системы программ и функции проверки и обработки информации. Показано, что такая организация дает возможность единообразия в описании данных и сохраняет преимущества его параметризации, а быстродействие обеспечивается использованием части ядра, необходимой для конкретного вычисления.

Введение интеллектуальной системы приобретения знаний позволяет идентифицировать электрорадиоизделия, входящие в комплексы бортовой аппаратуры, с автоматической идентификацией ошибок в представлении данных и/или в расчетах с указанием места и вида ошибки, а фреймовое представление характеристик – алгоритмизировать работу с численными и строчными данными. В организации надежностного проектирования отмечена перспективность перехода от реального объекта к его виртуальному отображению с программированием технических объектов в виде нейросети.

Ключевые слова:
НАДЕЖНОСТЬ, СЛОЖНЫЕ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, БИБЛИОТЕКА ФУНКЦИЙ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРИОБРЕТЕНИЯ ЗНАНИЙ, ФРЕЙМОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК, ВИРТУАЛЬНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ОБЪЕКТА, НЕЙРОСЕТИ

Введение. При проектировании и производстве сложных технических объектов вопросы обеспечения надежности играют особую роль. Традиционно методы оценки надежности технических объектов являются специализированными и в большой степени зависят как от уровня проработанности конструктивных решений создаваемого объекта. Например, применительно к космической технике степень важности значений показателя надежности может быть одной из характеристик, определяющих успешность проводимых экспериментов. В современных реалиях решение о запуске космического аппарата (КА) не может рассматриваться до того, как будет получен расчет вероятности его безотказной работы.

Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации бортовой аппаратуры (БА) КА показывает, что развитие космической науки и техники в части решения задач по уменьшению причин появления нештатных ситуаций на КА при комплексном воздействии внешних факторов по-прежнему остается приоритетным направлением [1].

Это связано с тем, что в настоящее время нет единой идеологии построения комплексной обработки информации от систем контроля технического состояния функциональных модулей БА до индикации ситуации на КА в целом. В настоящее время у большинства разработчиков КА существуют свои методы оценки эффективности прогноза развития опасной ситуации на КА при деградации характеристик бортовых модулей.

Итак, практическая ценность существующих оценок и прогнозов для принятия своевременных мер по предупреждению появления опасной ситуации на КА, вызываемой внешними воздействиями (ВВ), остается в настоящее время весьма низкой. Такие оценки и прогнозы оказываются пригодными в основном только для анализа причин произошедших аномальных событий на КА при работе оперативной группы во время эксплуатации КА и при работе комиссии по оценке результатов летно-конструкторских испытаний.

Проблема оперативной оценки надежности сложных программно-технических средств. Среди наиболее важных факторов, не позволяющих контролировать изменения показателей надежности БА КА выделяются сложность применяемых моделей и недостаточность данных для достоверного оперативного моделирования. В результате оценки, получаемые на основе существующих методов, появляются с большим запаздыванием относительно возникновения конкретных ситуаций на КА. Такое запаздывание существенно снижает эффективность прогнозов.

Кроме того, при применении традиционно используемых методов оценки и прогнозы вероятности безотказной работы являются результатами комплексной обработки сильно усредненных по величине параметров и временных интервалов. В режиме реального времени эти оценки и прогнозы позволяют достоверно оценивать и прогнозировать только наиболее «сильные» эффекты деградации характеристик, связанные, например, с такими событиями как «солнечные вспышки», прохождение КА известных областей повышенной радиации в околоземном космическом пространстве, длительная эксплуатация КА и т.п.

Как было отмечено, конкретизация оценок и прогнозов причин появления опасной ситуации на КА и параметров, вызывающих ее воздействий, связана с высокой сложностью моделирования рассматриваемых процессов и изменяющейся доступностью данных для данного моделирования в процессе эксплуатации КА. Поэтому для каждого этапа эксплуатации КА наиболее эффективным является конкретный метод получения оценки и прогноза. Выбор такого метода из набора возможных методов, связан с введением определенных правил в соответствии с опытом разработчика.

К сожалению, существующие средства машинных вычислений надежности обладают рядом несовершенств. Такое положение связано с бытующей в среде разработчиков недооценкой важности соотношения «инструмент-объект».

Опыт эксплуатации КА показывает, что защита от внешних воздействий (ВВ) требует согласованных действий всех участников процесса создания и эксплуатации КА. Для бортовой аппаратуры эта задача стояла практически со времени первых запусков, однако особенную актуальность она приобрела с появлением спутников с функциональными блоками, монтируемыми на открытых платформах. Однако, до настоящего времени для расчета влияния внешних факторов используются полуэмпирические модели.

Например, наиболее известны модели НАСА США, в России модели НИИЯФ МГУ и ВНИИ технической физики [2], которые использованы в отдельных программных пакетах [3]. К сожалению, набор мер имеющихся в наличии у разработчиков и эксплуатантов КА достаточно ограничен массогабаритными ограничениями (определяющими требования к характеристикам фильтров, параметрам топлива и т. д.), а также недостаточностью данных для создания детализированных моделей влияния воздействий среды на конкретные узлы БА в конкретных условиях эксплуатации.

Существенный прогресс по мерам защиты КА от ВВ и увеличения срока их активного существования может быть достигнут не только за счет введения новых или улучшения существующих конструктивных решений защиты, но и с помощью новых алгоритмов ее обеспечения. Перспективным решением, может стать глубокая интеграция программного обеспечения (ПО) в единый контур управления с обновлением контекста принимаемых решений в реальном времени в зависимости от задач, решаемых бортовым комплексом управления (БКУ) КА, и состояния космической погоды.

Типовой БКУ КА предназначен для решения основных задач [4]:

- сбор, первичная обработка, хранение и телеметрирование информации оперативного контроля и ее использование в задачах управления;
- организация информационно командного взаимодействия с бортовым компьютером;

- координированное управление функционированием БА в целом при наземной отработке КА и штатном выполнении программы полета в автоматическом режиме;

- диагностика состояния БА и ее систем, обнаружение, локализация и парирование расчетных нештатных ситуаций в автоматическом режиме.

Современный БКУ характеризуется так же:

- комплексной организацией комбинированной работы систем БА и поддержкой интерфейсов при реализации всех полетных режимов и операций в реальном масштабе времени;

- строгой иерархичностью многоуровневой структуры построения БКУ и детерминированностью движения потоков информации (командно- управляющей информации сверху вниз от «ядра» БКУ к каждому элементу и контрольно- диагностической информации снизу вверх от периферийных элементов до «ядра»);

- гибкими алгоритмами управления БКУ на основе целеуказаний, от наземных станций и диагностической информации от сенсоров, эффективный расход ресурсов и использование резервов, а также адаптивностью к отказам и нештатным ситуациям.

Сложившаяся современная схема БКУ является весьма перспективной и в целом отвечает современным требованиям системы управления КА. Однако эта схема не свободна и от недостатков, которые обусловлены тем, что схема ориентирована на минимизацию требуемых вычислительных ресурсов и соответственно сокращения расхода потребления энергии при управлении КА.

Данные ограничения, возникшие в период, когда производительность вычислительных средств (включая память) на единицу потребляемой мощности была на несколько порядков ниже достигнутых теперь значений. Строгая иерархичность многоуровневой структуры, лишает БКУ возможности эффективной реализации управления защитой от электрофизических воздействий (ЭФВ), путем перехода от гибких, но в основе детерминированных алгоритмов управления к интеллектуальным алгоритмам, основанным на системах близкого взаимодействия человек-машина.

Важно требование ограничения времени на анализ ситуации, принятие решений по обеспечению устойчивости работы БКУ, проведение защитных и восстановительных воздействий. По аналогии с метрологической службой должна быть создана служба мониторинга и коррекции, где необходимо создавать автономную (специализированно поверенную!) систему информирования, рекомендаций и автоматического восстановления программно-технических модулей согласно данным о прогнозе развития ситуации на борту КА. Таким образом, ставится проблема алгоритмизации расчета надежности сложных программно-технических средств (ПТС).

Интеллектуальная система приобретения знаний. Важным этапом в интенсификации оперативного расчета надежности ПТС является система программ, интеллектуальность которой позволяет идентифицировать электрорадиоизделия (ЭРИ), входящие в такие комплексы. В рамках задач оценки надежности технических объектов разработан алгоритм формирования оптимальных управляющих воздействий для обеспечения устойчивости работы сложных технических систем различного уровня [5].

Введение интеллектуальных блоков в работу с фреймовым представлением характеристик ЭРИ позволило алгоритмизировать работу с численными и строчными данными. Важным достоинством такого алгоритма является автоматическая идентификация возможных ошибок в представлении данных и/или в расчетах с указанием места и вида ошибки [6].

При введении блочно-модульного принципа в конструктивные решения hard-ware серьезным недостатком является возможность дублирования функций различными модулями, входящими в конкретный комплекс. Предлагаемый алгоритм построен так, что в программных модулях это свойство используется как преимущество, при этом в построение расчета надежности систем различного класса вводится унификация.

В применении к сложным ПТС система таких унифицированных средств включает в себя алгоритм формирования базы данных о характеристиках ЭРИ, а также интеллектуальное программное обеспечение идентификации ЭРИ, позволяющее рассчитывать их надежность. Интеллектуальность программного обеспечения определяет в его возможности адаптироваться к изменяющимся характеристикам ЭРИ и ПТС в целом в соответствии с существующими нормативными документами.

Предложенная модель является рабочим инструментом в расчетах надежности ПТС, а оригинальный алгоритм сокращения размерности описания ЭРИ позволяет существенно интенсифицировать эти расчеты [7].

Принципиальную новизну в реализации новой системы можно характеризовать ориентацией на комплексное приобретение знаний и представление умений связывать факты в знания, поддерживающие расчет надежности. В настоящее время авторам не известны ни отечественные, ни зарубежные публикации о разработке и практическом использовании такого программного обеспечения.

Перспективы разработок. В настоящее время среди наиболее перспективных направлений развития работ по обеспечению отказоустойчивости КА можно выделить попытки программирования технических объектов в виде нейросети с целью обучения ее на реальных данных. В этом случае повторяется основная закономерность: наблюдение – формирование основных зависимостей.

При таком подходе неизбежно возникают и сдерживающие факторы, одним из которых является недостаточная адаптация классических подходов к машинным вычислениям. Примером того, могут являться известные функции дифференциальных вычислений. Несмотря на техническую возможность выполнения таких операций, их каскадирование неизбежно многократно увеличивают требуемые вычислительные или временные ресурсы [8].

Другим фактором является необходимость работы с большим объемом данных. Применительно к изделиям космической техники это имеет колоссальное значение, поскольку применяется огромное число аппаратуры различного рода, которая по-разному влияет на показатели надежности аппарата, и как на вероятность выполнения целевой задачи.

В этой связи актуальны задачи:

- получения эффективных алгоритмов;

- создания унифицированного языка описания состояния.

Разрешение таких задач имеет огромное прикладное значение. Во-первых, развиваются и улучшаются механизмы разработки КА, методы определения их технического состояния. С другой стороны, появляется возможность интеграции виртуальной модели объекта непосредственно на работу бортовой аппаратуры, которая бы обеспечивала механизмы автоматического принятия оперативных решений самим аппаратом, повышая тем самым не только надежность, но и его живучесть и стойкость к ВВ. Таким образом, формируется механизм рассмотрения альтернативных решений.

Одним из важных направлений в таком рассмотрении является унификация методик проведения мероприятий, связанных с обеспечением надежности [9]. Эти методики можно разделить на два основных направления:

- первое направление относится к потенциальной надежности, которое учитывает конструктивные (выбор материала, запас прочности и т. д.) и технологические (ужесточение допусков, повышение чистоты поверхности и т. д.) методы обеспечения надежности;

- второе направление – эксплуатационное, которое направлено на обеспечение функциональной надежности (стабилизация условий эксплуатации, совершенствование методов ТО и ремонта и т. д.).

В условиях все более ужесточающихся требований к показателям надежности применительно к КА

на первое место чаще ставится вопрос не о том, как рассчитать значение параметров, а о том, чтобы спроектировать объект с заданными показателями – надежностное проектирование. Процесс проектирования объекта с заданными показателями надежности не может существовать без процесса построения модели объекта. Формируются основные входные и выходные параметры объекта, строятся аналитические зависимости между ними, выделяются управляющие параметры.

С позиции аналитических построений такая схема представляет собой классическую схему управления. Ее практическая реализация должна быть сформирована в виде цифровой модели объекта, а значит должны быть разработаны основные программно-математические инструменты. Таким образом, задачи надежностного проектирования и программно-математического обеспечения неразрывно связанны. В этом случае появляется задача формирования надежностной модели объекта, а повсеместное развитие цифровой вычислительной техники определило необходимость адаптации методик расчета к машинным вычислениям [10].

Преимуществом этого подхода является возможность прогнозирования работы объекта еще на этапе проектирования. Переход от реального объекта к виртуальной модели также позволяет сопровождать исследования объекта в процессе эксплуатации и после нее.

Традиционно расширение функциональных возможностей БА предполагает рост количества элементов, входящих в состав ее систем. При этом важным ограничением в работе КА является необходимость выполнять сложные функции при воздействии внешних факторов неизвестного происхождения. Современный этап характерен тем, что происходит переход от реального объекта к его виртуальному отображению [10]. Процесс корректирования способов его отображения непрерывно модифицируется – возникают все более точные методики описания технического состояния объекта, более точные аналитические выражения расчетов основных показателей надежности, решается задача совершенствования механизмов обеспечения живучести КА при увеличении срока их активного существования.

Выводы. Опыт эксплуатации низкоорбитальных спутников дистанционного зондирования Земли показывает, что для обеспечения оперативности оценки надежности БА рационально использование библиотеки функций. Эта библиотека должна включать в себя набор алгоритмов, определяющих взаимодействие элементов системы программ, и вспомогательные функции проверки и обработки информации. Такая организация обеспечивает единообразие описания данных и сохраняет преимущества его параметризации, т. к. изменения, внесенные в одном месте, автоматически распространяются на всю систему. При этом сохранение быстродействия обеспечивается использованием только части ядра, необходимой для конкретного вычисления. Концентрация математических вычислений только в двух узлах (вычислительном ядре и алгоритмах из библиотеки функций) определила достоинство предлагаемой системы моделей, заключающееся в зависимости эффективности ядра только от эффективности распределения потоков информации, поскольку его целью является получение одного значения для одного элемента, а алгоритм вычисления заранее определен в модели расчетов элементов.

Основными преимуществами такой методологии являются разработка механизма представления входных данных для проведения оперативных оценок и прогноза показателей надежности БА. В целом использование системного подхода, основанного на применении структурных методах расчета показателей надежности, является действенным инструментом в квалификации результатов испытаний сложных ПТС на живучесть.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Н.С., Талалаев А.А., Фраленко В.П. Интеллектуальный анализ телеметрической информации для диагностики оборудования космического аппарата. – Информационные технологии и вычислительные системы, № 1. 2016. С. 64-75.

2. Лазарев Ю.Н., Петров П.В., Диянкова Е.В., Бронский А.В. Моделирование ВЭМЭ. Ч. 1. Модели. Снежинск. 2004. (Препр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т техн. физики № 220).

3. Белоус А.И., Шведов С.В., Солодуха В.А. Космическая электроника Т. 1. М.: Техносфера. 2015.

4. Основные положения Федеральной космической программы 2016-2025 http://www.roscosmos.ru/22347/

5. Кулиш Н.С., Тюрина Д.Д., Бабишин В.Д., Гайдай Т.Я., Скоробогатов П.О., Кривопалов Д.М., Бурба А.А., Юркевич Е.В. Патент на изобретение № 2674281 на «Устройство формирования оптимальных управляющих воздействий для обеспечения устойчивости работы сложных технических систем», приоритет от 26 декабря 2017 г.

6. Юркевич Е.В., Кривопалов Д.М., Крюкова Л.Н. Алгоритмические особенности надежностного проектирования бортовых систем космических аппаратов /Вестник Южно-Сибирского государственного университета. 2019. № 2. С. 18-27.

7. Кривопалов Д.М., Юркевич Е.В. Механизм построения аналитического решения при вычислении вероятности безотказной работы системы с ненагруженным резервированием при неоднотипных элементах // Надежность. 2017. № 4. Т. 17 . С. 16-22.

8. Кривопалов Д.М., Юркевич Е.В. Матричная форма функций вероятностей безотказной работы систем с ненагруженным резервированием. // Надежность. 2018. № 1. Т. 18. *С. 20-25.*

9. Юркевич Е.В., Полетыкин А.Г., Промыслов В.Г., Степановская И.А., Крюкова Л.Н. Виртуализация инжиниринга процессов управления стойкостью космического аппарата к электрофизическим воздействиям. М.: ИПУ РАН. 2018. – 168 с.

10. Четвертакова Е.С. Исследование деградационных гамма-моделей со случайным и фиксированным эффектами // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 6. С. 120-128. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-6-120-128

11. Anunay Gupta, Om Prakash Yadav, Douglas DeVoto, and Joshua Major. "A Review of Degradation Behavior and Modeling of Capacitors." // Proceedings of the ASME 2018 International Technical Conference and Exhibition on Packaging and Integration of Electronic and Photonic Microsystems. ASME 2018. San Francisco, California, USA, 2018. DOI: 10.1115/IPACK2018-8262.

12. C. Kulkarni, G. Biswas, X. Koutsoukos, K. Goebel, and J. Celaya. "Experimental Studies of Ageing in Electrolytic Capacitors," // Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, 2010.

13. C. Park, and W. Padgett, "Accelerated degradation models for failure based on geometric brownian motion and gamma processes", Lifetime Data Analysis, 11(4), 2005. Pp. 511–527.

14. Старостин И.Е., Быков В.И. Анализ и моделирование в сосредоточенных параметрах динамики реальных физико-химических процессов методами современной неравновесной термодинамики с использованием системного анализа // Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Пенза: ПГУ, 2018. 1 т. С. 210 – 214.

ГЛАВА 3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ, ПРОЕКТИРОВАНИИ, ПРОИЗВОДСТВЕ И ЭКОНОМИКЕ

УДК 61.4

Касумаев Б.А.

БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет», Сургут, Россия

ПЕРЕХОД К ВИРТУАЛЬНОСТИ – БУДУЩЕЕ ОБРАЗОВАНИЯ

Актуальность исследования обусловлена тем, что технологии виртуальной реальности продолжают набирать популярность на рынке образовательных технологий. Целью настоящего исследования является выявление и обзор основных трендов развития цифровых образовательных технологий, влияющих на трансформацию роли обучения в цифровой экономике, и ключевых глобальных тенденций в данном процессе на сегодняшний день. Задачами исследования являются поиск и творческое освоение информации по факторам и тенденциям, выявление ключевых тенденций в системе обучения, приоритизация и структурированное описание выявленных факторов и тенденций в цифровой экономике. В статье проведен анализ индустрии виртуальной реальности, который позволяет выделить основные сегменты применения технологии. Определены ключевые особенности эффективной системы образования. Автором приводится вывод, что конечной целью всех перемен является акселерация талантов и подготовка кадров для цифровой экономики.

Ключевые слова:

ОБУЧЕНИЕ, ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА, ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ, ЦИФРОВАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА СИСТЕМА

AR и VR уже давно не просто модные в определенных кругах слова. В своем отчете Technavio прогнозирует, что к 2021 г. технологии виртуальной реальности на рынке образования будут расти на 55% в год. И все же «звездой» 2018 г., по мнению экспертов, станет именно дополненная реальность. Специалисты предполагают внушительное увеличение доли сегмента AR-технологий (годовой прирост 82%) в период с 2018 по 2021 гг. Таким образом, потенциальный объем рынка образовательных AR-технологий только в Северной Америке будет равняться $3 млрд. [1,2,8]. Кроме того, эксперты ожидают снижение себестоимости производства AR-аксессуаров, что только ускорит рост их популярности как среди учащихся, так и преподавателей: например, студенты прямо в аудитории смогут наблюдать за сооружением древних пирамид или слушать виртуальных ораторов на иностранном языке.

Технологии виртуальной реальности продолжают набирать популярность на рынке образовательных технологий. В своем отчете Technavio прогнозирует ежегодный рост спроса на технологии виртуальной реальности на 59%. Годом ранее компания оценивала аналогичный показатель для периода 2017–2021 годов в 55% [3,4,9]. Основным драйвером столь интенсивного развития рынка в прогнозируемом периоде является растущая доступность гарнитур и аппаратных средств VR. Важной тенденцией рынка в краткосрочной перспективе станет увеличение количества виртуальных социальных пространств [6,7]. Уже сейчас Microsoft через свой AltspaceVR поддерживает многопользовательские сеансы, которые позволяют учащимся общаться и взаимодействовать с другими пользователями. Социальная сеть Facebook также развивает собственную платформу VR, которую планирует запустить в 2019 году. Ожидается, что она представит такие функции, как виртуальные клубы и возможности совместного и экспериментального обучения.

Согласно прогнозам аналитиков Technavio, рынок онлайн-обучения иностранным языкам в США покажет среднегодовой прирост 9% к 2020 году. Таким образом, за 5 лет его объем увеличится на $276 млн. Одним из основных драйверов роста является использование технологий виртуальной реальности (VR) в мобильных приложениях. Они способны виртуально помещать пользователя в ситуации для применения иностранного языка на практике. Использование технологий VR в онлайн-обучении иностранным языкам набирает популярность благодаря высокой эффективности метода и повышению показателей вовлеченности обучающихся.

За 10 месяцев прошлого года объем инвестиций в EduTech составил более $8 млрд. При этом среди 16 компаний, собравших более $100 млн, семь являются китайскими. В фокусе азиатского рынка EduTech - игры и симуляции, VR и AR [5,10]. Так, например, NetDragon, крупнейший китайский разработчик мобильных игр, переходит на азиатский рынок, чтобы геймифицировать обучение, а благотворительная организация Room to Read в сотрудничестве с Google запускает цифровую платформу, способствующую повышению грамотности.

Анализ индустрии дополненной/виртуальной реальности от Goldman Sachs выделяет основные сегменты применения технологии. На лидирующих позициях: использование в развлекательных целях, включая видеоигры ($11,6 млрд) и мероприятия ($4,1 млрд). Далее идут сфера здоровья ($5,1 млрд) и инжиниринг ($4,7 млрд). Применение виртуальной/дополненной реальности в образовании — пока самый маленький из сегментов использования технологии. Ожидаемый объем инвестиций на горизонте до 2020–$300 млн., до 2025–$700 млн. [1]. Тем не менее авторы исследования отмечают перспективы развития технологии и видят VR/AR частью обязательного обучения в будущем.

Совместное исследование «Нетологии» и «Яндекс.Кассы» определило, что больше всего в сегменте онлайн-образования россияне тратят на курсы иностранных языков и психологии. Языковые курсы занимают большую часть в обороте рынка — 69 %. За один платёж люди тратят на языковые курсы в среднем 9 874 рубля. На курсы по психологии и эзотерике россияне тратят в среднем 4 976 рублей, а на тренинги по личностному росту — 3 667 рублей [4].

По мнению аналитиков ABI Research, к 2022 году мировой рынок VR/AR-обучения суммарно вырастет до $6,3 млрд. На российском рынке образования технологии виртуальной и дополненной реальности будут внедрены в 25 % всех «пилотных» образовательных учреждений страны к 2024 году. Среди основных причин, по которым VR/AR-технологии набирают популярность на рынке образования, специалисты компании Modum Lab выделяют (см. рис. 1):

1. Наглядность, реалистичность и практикоориентированность Программы с применением дополненной реальности по уровню вовлечённости показали результат почти вдвое больше по сравнению с форматами, не связанными с AR.

2. Повышение успеваемости и улучшение эмоционального состояния.

Психологи из Университета Варвика изучили влияние VR-технологий, видеоуроков и стандартного учебника на усвоение материала. Все три формата использовались на уроке биологии, после которого участникам необходимо было пройти тестирование. Выяснилось, что формат VR позволил повысить результаты теста на 28,5 %, тогда как видео повысило результаты на 16 %, а учебник — на 24 %. Кроме того, уверенность по шкале от 1 до 5 у студентов, которые изучали материалы с помощью VR-технологии, выросла на 1,12, по видео на 0,71, а после изучения учебника на 1,18.

Венди Фаррелл, менеджер по Content Solutions в американской компании Lionbridge, в формате вебинара рассуждает о возможностях, которые дают AR/VR обучающимся, рассматривает примеры из реальной практики. Особое внимание уделяется способам применения дополненной/виртуальной реальности в тренинговой базе и эффектам внедрения данной технологии в компаниях.

Согласно исследованию Pew Research Center, уровень образованности людей возрастает от поколения к поколению.

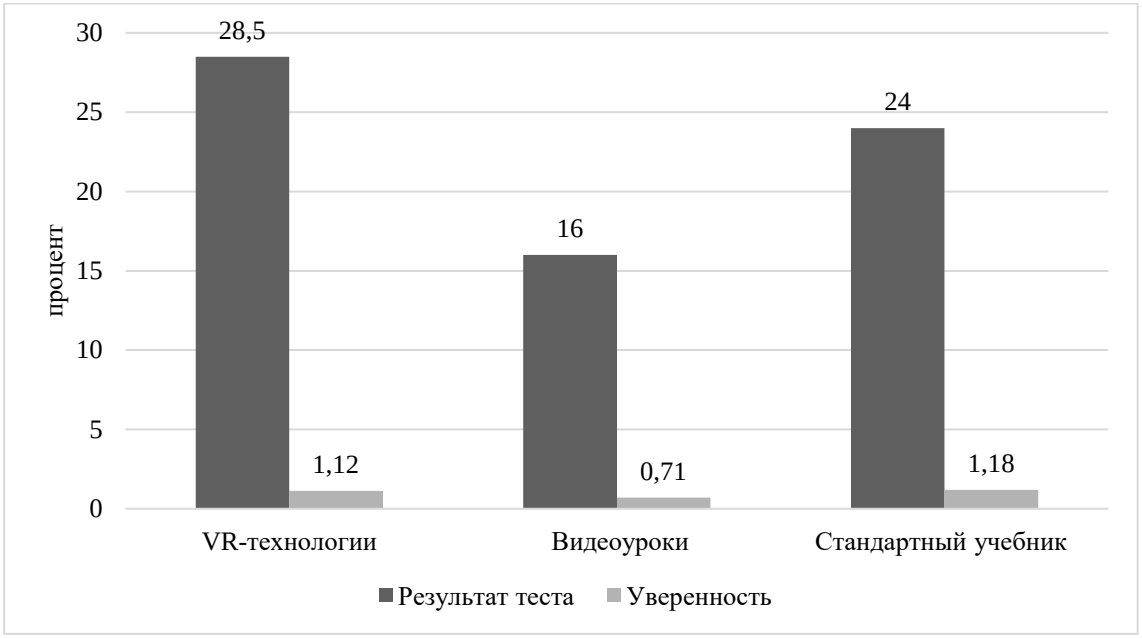


Рисунок 1 Влияние VR-технологий, видеоуроков и стандартного учебника на усвоение материала [1]

Так, прогнозируется, что миллениалы станут более образованными, чем представители всех предыдущих поколений, что неминуемо приводит к изменению и самой системы образования: обучение становится более гибким и технологичным (рис. 2).

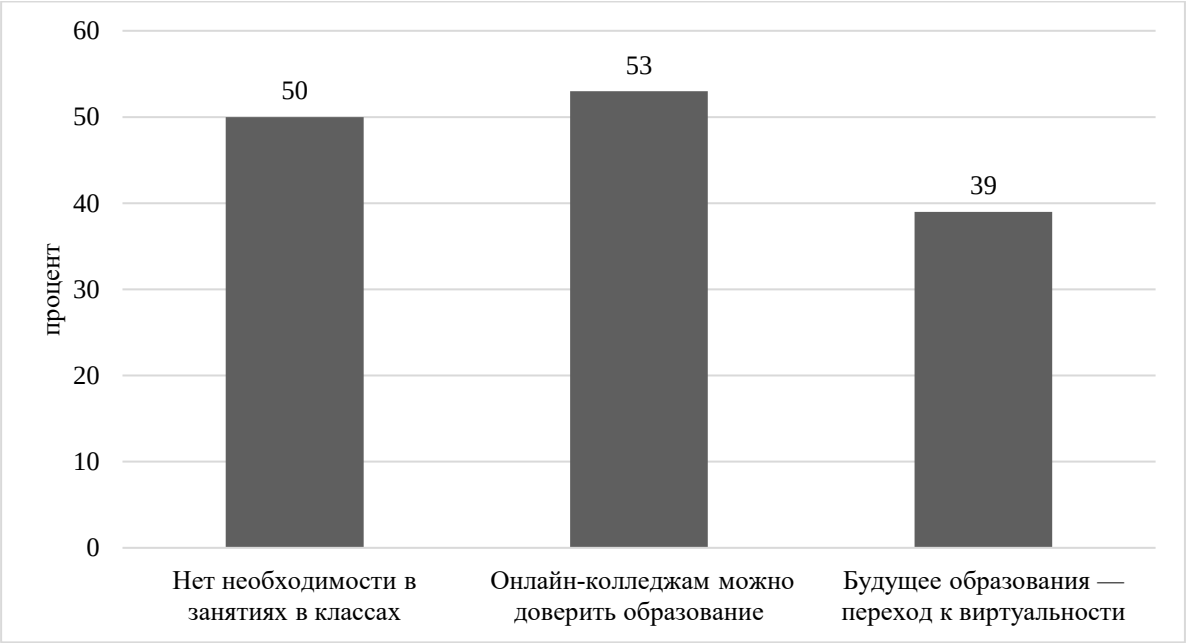


Рисунок 2 - Результаты опроса о применении VR-технологий в образовании [4]

Статистика показывает, что половина обучающихся поколения Y не видят необходимости в физическом присутствии в аудитории. При этом 39% опрошенных видят будущее образования в полном переходе в виртуальное пространство.

Процесс обучения становится более динамичным с каждым днем, в результате чего внимание смещается в сторону полной диджитализации образовательных процессов. Согласно исследованию Deloitte, 75% преподавателей предсказывают, что в течение 10 лет цифровой контент полностью вытеснит печатный из образования. Более половины опрошенных утверждают, что гаджеты используются в аудиториях как минимум раз в неделю, а 42% используют электронику ежедневно.

По мнению обозревателей EdTechmagazine.com, потенциал VR и AR-технологий только начинает проявляться. Например, многие университеты предлагают студентам расширить возможности для проведения исследований за счет применения технологий виртуальной реальности. Они вкладывают средства в новые исследовательские и дипломные программы, а также оборудование с целью предоставления студентам возможности стать новаторами в сфере виртуальных технологий. Технологии AR и VR сегодня способны расширить возможности практических занятий в высших учебных заведениях. С их помощью можно побывать на поверхности Луны, а также провести эксперименты с опасными химическими веществами без малейшего риска для жизни. Помимо создания безопасной среды для экспериментов, технологии AR и VR также предоставляют студентам возможность проводить исследования, которые невозможно было бы реализовать без дорогостоящего оборудования и длительной подготовки.

Среди ключевых особенностей эффективной системы образования можно отметить:

- стремительное развитие и внедрение технологий (hi-speed HQ видео, live streaming, VR/AR, 360 съемка) вместо живого присутствия,
- обучение в стиле agile вместо жесткой структуры учебных программ, переход на современные способы подачи информации (инфографика, гифки, мемы) и доставки контента до обучающихся (телеграм-каналы, онлайн-голосования, suggest-борды),

- использование элементов геймификации, социального обучения — и в целом трансформации традиционной школы в полноценный коворкинг.

Конечная цель всех перемен - раскрытие потенциала поколения Z, акселерация талантов и подготовка кадров для цифровой экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Coursera. Google IT Support Professional Certificate. 2018. URL: https://www.coursera.org/specializations/google-it-support

2. Кельчевская Н. Р., Ширинкина Е. В. Региональные детерминанты эффективного использования человеческого капитала в цифровой экономике // Экономика региона. - 2019. - Т. 15. - № 2. - С. 465-482.

3. Ширинкина Е.В. Искусственная интеллектуализация в управлении процессом обучения работников предприятий // Научные исследования и разработки. Экономика. - 2019. - Т. 7. - № 6. - С. 41-44.

4. IBM Institute for Business Value. Facing the storm. Navigating the global skills crisis. 2016. URL: http://blog.oxfordeconomics.com/facing-the-storm-navigating-the-global-skills-crisis

5. Ширинкина Е. В. Нейротехнологии в системе управления знаниями на предприятиях // Вопросы управления. 2019. № 5 (60). С. 214-220.

6. Ширинкина Е.В Развитие массовых открытых онлайн-курсов в цифровой среде // Экономика образования. 2020. № 1 (116). С. 38-45.

7. Ширинкина Е.В. Особенности формирования единого цифрового образовательного пространства // Северный регион: наука, образование, культура. 2019. № 3/4 (43/44). С. 102-105.

8. Ширинкина Е.В. Оценка спроса на цифровые кадры в условиях развития технологий «Индустрии 4,0» // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2019. Т. 2. С. 240-242.

9. Kelchevskaya N.R., Shirinkina E.V., Strih N.I. Evaluation of Digital Development of Human Capital of Enterprises // Advances in Social Science, Education and Humanities Research. – 2019. - Vol. 298. - P.446-449.

10. Shirinkina E., Strih, N. Methods of estimation of digital competences of industrial enterprises employees by means of neural network modelling // Espacios. - 2019. - Vol. 40 (27). - P.5.

УДК 61.4

Ширинкина Е.В.

БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет», Сургут, Россия

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УРОВЕНЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Актуальность исследования, проведенного в данной статье, обусловлена тем, что в условиях глобализации цифровизации и усиления конкуренции требования к выживанию предприятий возрастают. В ближайшие годы лидерство будет принадлежать предприятиям с преимущественным развитием цифровых технологий. Цель исследования - сформулировать особенности управления человеческим капиталом на предприятиях на основе оценки факторов, влияющих на уровень цифровизации бизнес-процессов. Основная гипотеза заключалась в том, что деятельность предприятий по повышению уровня цифровизации сдерживается, прежде всего, внутренними факторами, связанными с ограниченностью ресурсов и управлением человеческим капиталом.

Ключевые слова:

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ, ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА, БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ, ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, КОМПЕТЕНЦИИ, ИНДИКАТОРЫ

Последние десятилетия 20-го века ознаменовали начало нового этапа в развитии промышленных предприятий и экономических систем в России, благодаря использованию продуктов и информации для автоматизации, включая замену ручного труда роботизированными устройствами, а также использование узкоспециализированное программное обеспечение, предоставление других информационных ресурсов. Однако такие термины, как «цифровизация» и «цифровая экономика», впервые высказанные в 1995 году американским ученым из Массачусетского университета Николасом Негропонте, сегодня широко распространены во всех секторах экономики и общественной жизни.

С 2011 года цифровая экономика все больше проникает в экономическую и социальную среду после промышленной выставки в Ганновере, во время которой была провозглашена концепция Industry 4.0, отмечающая переход к четвертой промышленной революции. Основная идея концепции - объединить мир «вещей» (материальный мир) с виртуальными, которые трансформируются путем объединения киберфизических комплексов «CPS» и производственных процессов в одну цифровую экосистему, объединяющую предприятия и цифровые технологии.

Россия в области цифровизации экономики движется быстро, но отстает от ведущих мировых держав (см. рис. 1).

В настоящее время Россия занимает довольно низкое место в мировых рейтингах конкурентоспособности, неразвитость российского рынка цифровых технологий отражает степень развития страны в целом.

В связи с этим это становится особенно актуальным оценка факторов, влияющих в России на развитие цифровизации предприятий. Российское участие хозяйствующих субъектов в этом процессе позволят им занять более стабильную позицию, как на внутреннем, так и на внешнем рынках. На сегодня самая распространенная цифровизация – в продукции в автомобильной промышленности, авиации, энергетике.

Факторы, влияющие на уровень цифровизации в промышленности, были определены в результате опроса предприятий. Всего было опрошено 75 предприятий. Основная гипотеза исследования заключалась в том, что деятельность предприятий по повышению уровня цифровизации сдерживается, прежде всего, внутренними факторами, связанными с организационной структурой и управлением человеческим капиталом. Эта гипотеза была частично подтверждена: действительно, среди препятствий, связанных с управлением человеческим капиталом, необходимо отметить тот факт, что многие респонденты отметили их (70%), «Отсутствие квалификации персонала с использованием цифровых технологий» - (39%), 79% опрошенных компаний указали в составе причин недостаток финансовых ресурсов.

Если мы проанализируем определенные препятствия, то финансовые ограничения стоят во всех трех первых местах: 64% отметили недостаточность бюджета, который может быть использован для внедрения цифровых технологий, высокая стоимость проектов в области цифровых технологий составляет 63%, стоимость операционные системы используют слишком много цифровых технологий (50%). (см. рис. 2).

Любопытно, что по мере роста компании в цифровом виде финансовые препятствия постепенно теряют свое значение - оно уменьшается с 92% до 72%. С точки зрения человеческого фактора, низкий уровень квалификации персонала, часто называют препятствием для сотрудников более продвинутых компаний в цифровой сфере -36%, проблема высокой стоимости операционных систем (82% против 41-45% для других компаний).

Рисунок 1 - Разница в уровне цифровизации между Россией и Европой

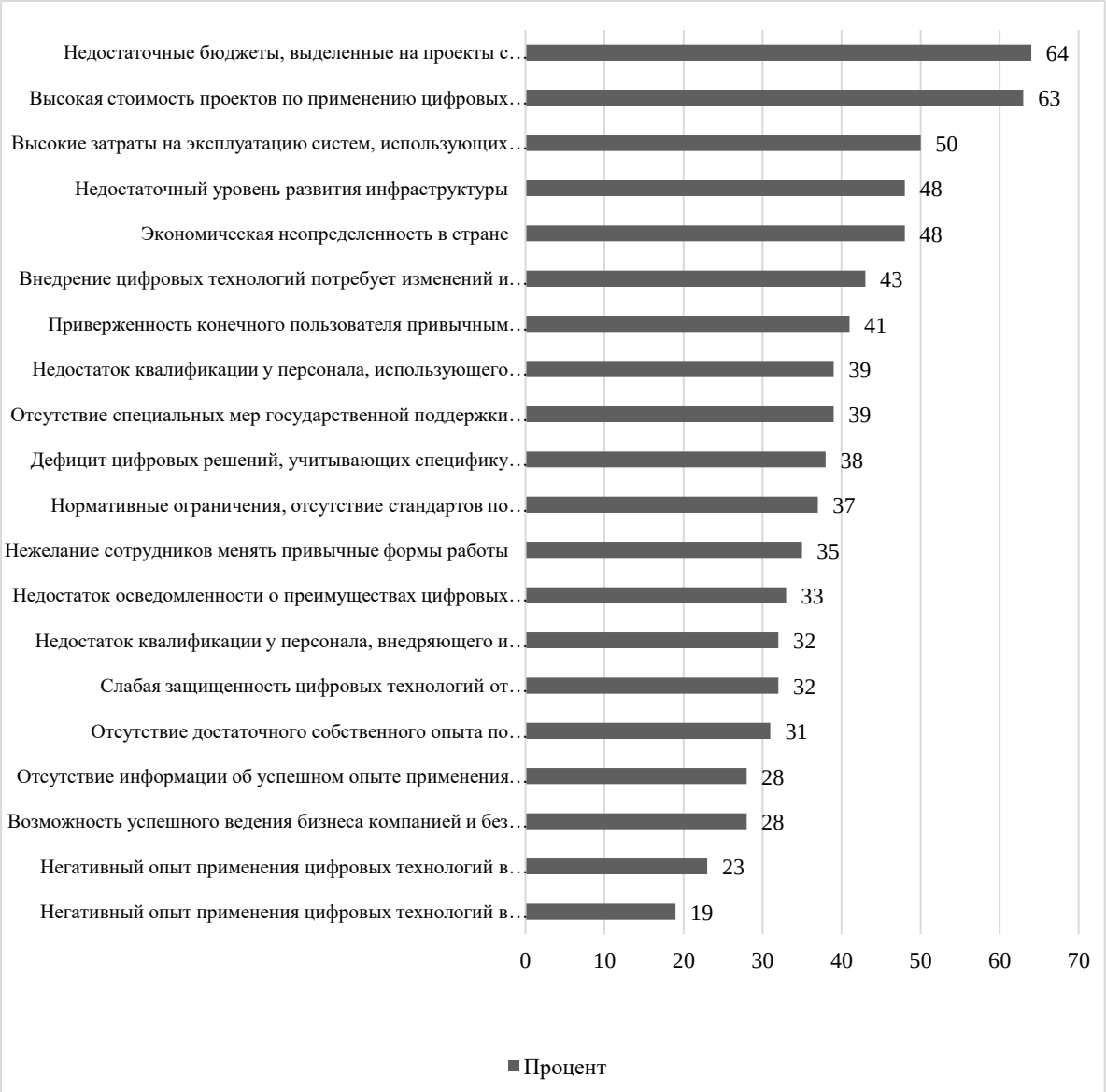


Рисунок 2 - Каковы наиболее серьезные препятствия на пути повышения уровня цифровизации в вашей компании? Распределение ответов,%. Составлено автором на основе личных результатов

Оказывается, что если они могут инвестировать в проект один раз, затраты на постоянное поддержание функционирования системы могут стать для них серьезным препятствием. Начинающие ограничены в своих возможностях расширения цифровых проектов и из-за низкого уровня развития инфраструктуры -71% против 38-45.

Очевидно, что обычные методы ведения бизнеса, обычные бизнес-модели и привычные потребительские стандарты больше не работают. Эксперты приводят в качестве примера наиболее трансформирующихся отраслей телекоммуникации, средства массовой информации (в более широком смысле, медиабизнес) и банковский сектор.

Результаты исследования показывают, что только 12% компаний имеют стратегию управления человеческим капиталом при переходе на новые цифровые технологии в течение следующих 5 лет в отдельном документе. Примерно столько же (26%) не проводят различия между «цифровизацией» в отдельном направлении или независимом разделе, но, так или иначе, учитывают возможность использования цифровых технологий (либо в качестве самостоятельных проектов - 12%, либо в рамках долгосрочных инвестиционных проектов - 14%), необходимо что для научных исследований программное обеспечение используют только 4,7% организаций.

Эффективное цифровое преобразование предприятия невозможно без развитой стратегии цифровизации, которая не только определяет список мероприятий по цифровизации предприятия, но также предоставляет план действий в требуемое состояние предприятия, с учетом существующего уровня производственной, эксплуатационной, кадровой и коммерческой готовности предприятия, оценки эффективность цифровых проектов, их ранжирование по предоставляемым эффектам, а также уровень инвестиций в них.

Разрешение этого парадокса позволяет предположить, что сегодня использование цифровых технологий топ-менеджерами многих российских компаний воспринимается как все еще чисто технологическая задача. В настоящее время предприятия должны признать необходимость разработки долгосрочной стратегии цифровизации, обеспечение развития цифровой культуры, активное привлечение высококвалифицированных специалистов в области цифровых технологий. В результате цифровая трансформация предприятия обеспечит прорыв в экономическом развитии и повышение конкурентоспособности на международной арене.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мау В. Человеческий капитал: вызовы для России // Вопросы экономики. – 2012. - № 7. – С. 115.

2. Ширинкина Е.В. Цифровизация промышленных предприятий – потенциал развития человеческого капитала // Труды международного симпозиума Надежность и качество. - 2018. - Т. 2. - С. 267-269.

3. BCG, 2017. - https://globenewswire.com/news-release/2017/03/09/933681/0/en/The-Boston-Consulting-Group-Hits-5-6-Billion-in-Sales.html

4. Digital McKinsey. - http://www.mckinsey.com/global-locations/europe-andmiddleeast/russia/ru/our-work/mckinsey-digital

5. European Union - "Digital Education Action Plan", 2018.- https://ec.europa.eu/education/policy/strategic-framework/educationtechnology_en

6. Guisan M. C., Exposito P. Economic Growth and Cycles in the 20th Century // Applied Econometrics and International Development. - 2001.- № 1-1.- С.9.

7. Kagaari J., Meunene J.C., Ntayi J.M.. Performance management practices? employee attitudes and managed performance // International Journal of Educational Management. – 2010/ - № 24 (6). С. 507–530.

8. Kane, G., Palmer, D., Phillips, A., Kiron, D., Buckley, N. Aligning the Organization for Its Digital Future // Research report. - 2016. -№ 5. С. 81.

9. Sirkin H., Zinser M., Rose J. The Robotics Revolution. The Next Great Leap in Manufacturing. Boston: BCG. - 2015.- С. 28.

УДК 681.518.25; 004.8

Надейкина Л.А., Петрушин В.В.

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА), Москва, Россия

РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕКСТА ВОПРОСОВ ПО СМЫСЛУ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЕ АЭРОПОРТА

Разработана автоматизированная справочная система аэропорта на основе технологии машинного обучения. Использовался метод иерархической кластеризации. Текст вопросов представлялся в виде модели неупорядоченного набора слов, преобразованных в вектора вещественных чисел. Для поиска похожих по смыслу вопросов использовался алгоритм поиска «ближайшего соседа» по методу HNSW nmslib быстрого поиска ближайших векторов в многомерном пространстве. Поиск подходящих по смыслу ответов осуществлялся в базах данных ряда партнёрских авиакомпаний с минимальным участием в этом процессе человека.

Ключевые слова:

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, ИЕРАРХИЧЕСКАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ, СЕРВЕР АНАЛИЗА ДАННЫХ, РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕКСТОВ, ПОДДЕРЖКА АВИАПАССАЖИРОВ

Введение.

Нейросети и другие системы машинного обучения стали одними из основных технологий XXI века, особенно в гражданской авиации. Не считая простых задач, но и задач, в решении которых совершенствовался наш мозг – распознавание лиц, перевод языков, распознавание текстов - этим системам решения удаются лучше, чем людям. Подобные системы стали возможными благодаря огромной мощности современных компьютеров.

Основная задача нейросети – распознавать закономерности. Она создана по образу человеческого мозга и представляет собой решетку из базовых вычислительных единиц – «нейронов». Каждый из них может быть типа переключателя вкл/выкл. Нейрон отслеживает выход множества других нейронов, будто бы голосующих по определённому вопросу, и переключается в положение «вкл» если достаточно много нейронов проголосовали «за». Обычно нейроны упорядочиваются в слои. Глубинные (мнослойные) нейросети обучаются так, чтобы наилучшим образом передавать сигналы через несколько слоёв к нейронам, связанным с нужными обобщёнными концепциями. Схема не проработана заранее, а адаптируется в процессе обучения методом проб и ошибок [1].

Получение справочной информации авиапассажирами в аэропортах, которые приобрели услугу авиаперевозки, является обязательной процедурой. Процесс получения нужной информации нередко требует больших временных затрат и не всегда отличается качеством. При этом следует отметить, что значительная часть вопросов однотипна, много раз задавалась, и в архивных файлах хранятся достаточное количество пар данных – вопросов/ответов. Это позволяет заключить, что процесс получения справочной информации можно автоматизировать с использованием технологии машинного обучения. Машинное обучение – это подобласть искусственного интеллекта, Data-driven

подход, полагающийся на "выучивание" закономерностей из имеющихся данных. Идея в том, чтобы не программировать алгоритм решения задачи "вручную", а "выучить" его из данных. Данные в процессе машинного обучения играют первостепенную роль. Некачественные данные могут привести к неправильным заключениям. Данные должны быть доступными, точными, полными, релевантными, актуальными. Ведение истории вопросов/ответов позволяет автоматизированной системе искать по смыслу ответы в архивных данных, среди ответов ранее предоставленных. Кроме того, объединение истории вопросов/ответов нескольких партнёрских авиакомпаний, значительно расширит количество готовых релевантных данных, доступных для обучения системы. И, как результат, большая часть ответов будет предоставляться системой автоматически.

Таким образом, справочная система должна оперативно предоставлять подходящие по смыслу ответы с минимальным участием в этом процессе человека. Участие человека для контроля правильности автоматически сформированных ответов актуально только на этапе ввода системы. При выходе на рабочий режим, система должна обходиться без помощи операторов и перенаправлять сообщение оператору только в особых случаях, если ей не удается сформировать релевантный ответ.

Система должна решать следующие задачи: автоматизация классификации новых обращений; вывод готовых ответов на основе предыдущих ответов из баз данных партнёрских организаций; ведение истории вопросов/ответов; автоматизация перенаправления вопросов и обращений операторам в особых случаях; вывод статистической информации.

Существующие программные продукты, как правило, решают данные вопросы предоставлением инструмента, собирающего вопросы и обращения, поступающие из различных источников в одном месте, хранением истории обращений и сбором статистической информации. И эта информация очень ценна, так как может использоваться в качестве обучающих данных (dataset) машинного обучения автоматизированных справочных систем. В автоматизированных системах вопросы должен классифицировать компьютер, пытаясь найти готовый ответ, при этом поиск должен производиться по смыслу, а не по совпадающим словам. Более того, подходящих ответов на запросы может быть существенно больше, если объединить базы данных нескольких аэропортов для обеспечения доступа к общей истории обращений.

Описание системы.

В работе представлена справочная система аэропорта, обеспечивающая автоматизацию обработки вопросов и обращений, внедрение которой должно повысить эффективность функционирования службы поддержки авиапассажиров. Система должна быть способна функционировать в информационной среде автокомпаний, а также, легко разворачиваться и интегрироваться в уже существующую инфраструктуру.

Система представляет собой web-приложение, распределенное программное обеспечение, использующее базовую инфраструктуру Интернет для связи между различными своими компонентами, а стандартные инструменты для навигации — браузеры, как основу для своего пользовательского интерфейса. Рассмотрим основные компоненты системы.

Web-сервер является центральным компонентом, обеспечивающим взаимодействие остальных компонентов системы: он осуществляет приём новых запросов (обращений) и передачу готовых ответов на них в пользовательский интерфейс, предоставляет интерфейс прикладного программирования для взаимодействия и с клиентской стороной, и с серверами партнёров. А также обеспечивает передачу всей информации, поступающей в систему, для хранения в базу данных, и взаимодействие с сервером анализа данных – сервером приложений, выполняющим всю аналитическую работу по анализу обращений и поиску правильных по смыслу ответов.

Для реализации модуля анализа данных, использовался язык Python из-за большого числа свободно распространяемых программных библиотек для машинного обучения и литературы, описывающей их использование. Поэтому этот язык был выбран для реализации функций и процедур сервера анализа данных.

Для реализации клиентской части web-приложения использовались языки JavaScript и HTML. При построении пользовательского интерфейса применялись технология CSS (Cascading Style Sheets, каскадные таблицы стилей) и язык разметки HTML. С использованием технологии AJAX, В HTTP - запросах передаются только данные. Их отображением занимается JavaScript код основных HTML страниц, единожды загруженный, что позволяет обеспечить быстрое и эффективное взаимодействие между клиентской и серверной частями web-приложения.

Для обеспечения хранения данных использовалась СУБД MySQL.

На рис. 1 представлена архитектура системы – состав компонентов и их взаимодействия друг с другом. С помощью почтового клиента, регулярно запрашивается информация о новых письмах, если найдены новые обращения, они записываются в реляционную базу данных, а сервер анализа данных получает уведомление об их поступлении и запрос на их дальнейшую обработку. Технология обработки данных описана ниже.

Итак, в определенный момент времени у авиапассажира возникает информационная потребность по той или иной нужной ему тематике, которая обычно достаточно узка. Потребность выражается в виде сообщения электронной почты, которое поступает в модуль анализа данных. Система обрабатывает вопрос и выдает пользователю релевантный ответ. На рис. 1 показано взаимодействие модулей при решении данной задачи. Под релевантностью в данном случае понимаем *системную (алгоритмическую) релевантность*, которая характеризует степень близости между формализованной информационной потребностью (запросом) и найденным системой ответом. Поскольку для сравнения поступающих новых и архивных обращений можно применять формальные критерии, системная релевантность в отличие от остальных ее видов, как правило, определяется самой поисковой системой в ходе работы поискового алгоритма без участия пользователя.

При работе с обращениями по смыслу основная задачей системы становится классификация текстов. В связи с важностью данной задачи, по ее решению проводятся множество исследований нахождения новых методов для достижения лучшего качества классификации текстов. Классификация решает следующую задачу [2]. Имеется конечное множество классов, предназначенное для классификации некоторых объектов. Также имеется множество объектов, для конечного подмножества которых известно к какому классу они относятся. Это подмножество называется обучающей выборкой. Классовая принадлежность остальных объектов не известна. Требуется построить алгоритм, способный классифицировать произвольный объект из исходного множества. Классифицировать объект — означает указать номер (или наименование класса), к которому относится данный объект. В задаче классификации текстов объектами являются текстовые документы. Запишем формальную постановку задачи классификации текстов.

$Q = \{q_1,...,q_n\}$ — множество текстовых документов. Каждый документ $q \in Q$ представляет последовательность слов $W_q = (w_1,\ldots,w_{nq})$, nq — длина документа q.

$Y = \{y_1,...,y_n\}$ — конечное множество меток классов.

$Q \to Y$ — неизвестная целевая зависимость, значения которой известны только на объектах конечной обучающей выборки $Q_m = \{(q_1, y_1),\ldots,(q_m, y_m)\}$. Требуется построить алгоритм отображения: $Q \to Y$.

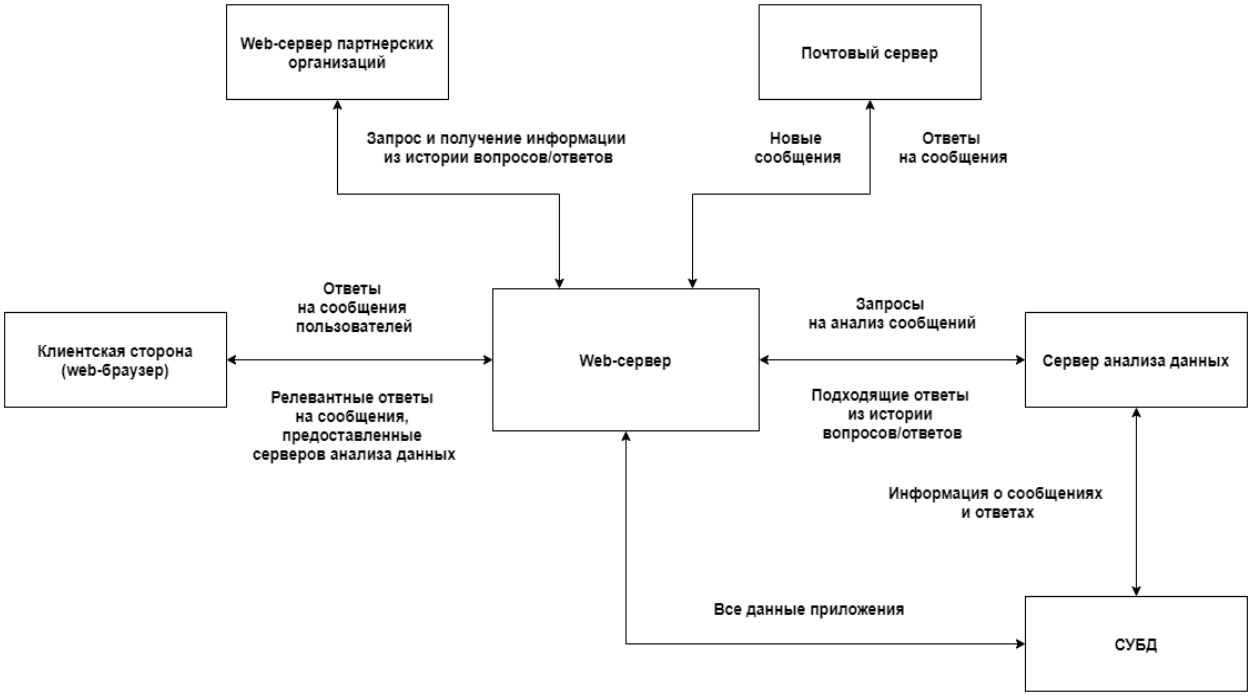


Рисунок 1 – Архитектурная модель системы

В работе для семантической классификации текстов была использована *Vector Space Model (VSM)* - математическая модель представления текстов, в которой каждому обращению сопоставлен вектор, выражающий его смысл. Такое представление позволяет легко сравнивать слова, искать похожие, проводить классификацию, кластеризацию и многое другое.

Сообщения удобно представить в виде векторов: преобразовав их из текстового представления в вектора вещественных чисел размерности равной количеству слов известных приложению, относясь к сообщению как к неупорядоченному набору слов. Для приведения сообщений в векторное представление, был написан набор подпрограмм, реализующих преобразование текстов в вектора с использованием модели bag-of-words (неупорядоченный набор слов) [2] и меры TF-IDF для уменьшения значимости часто встречаемых слов.

Мера TF-IDF, которая позволяет повысить качество определения значимости слов, определяется следующим образом: «статистическая мера, используемая для оценки важности слова в контексте документа, являющегося частью коллекции документов. Вес некоторого слова пропорционален количеству употребления этого слова в документе, и обратно пропорционален частоте употребления слова во всех документах коллекции» [3].

Мера TF-IDF часто используется в задачах анализа текстов и информационного поиска, например, как один из критериев релевантности документа поисковому запросу, при расчёте меры близости документов при кластеризации.

В каждую компоненту вектора записывается количество вхождений слова в рассматриваемое письмо соответствующего этой компоненте, деленное на количество появлений слова, соответствующего этой компоненте вектора во всех письмах, известных системе. При этом, проводится масштабирование значения слова, используя меру TF-IDF для увеличения значимости редко появляющихся слов, так как они зачастую несут больше информации. База слов должна составляться в процессе работы приложения на основе истории заявок записанных в базу данных.

Векторный алгоритм поиска, называемый TF-IDF ***- алгоритмом***, является одним из самых распространенных. Он основан на векторной модели информационного запроса, в которой для определения меры близости новых запросов и запросов из базы данных используется значение косинуса угла между их векторами в многомерном пространстве.

Вопросы в векторной модели представляют множествами наборов взвешенных слов. Вектор запроса q в таком случае будет выглядеть так:

q = (W1, W2,…,Wj,…,WM),

где Wj – вес j – ого слова в запросе, M – количество оригинальных слов в базе всех запросов.

Вектор вопроса из базы данных Pj можно представить как:

Pi = (W1i,W2i,…,Wji,…,WMi),

где W_{ji} – вес j – ого слова в вопросе P_i из базы вопросов.

Функция совпадения векторов вопросов имеет вид:

$$R_{i,q} = \frac{\sum_{j=1}^{M}(W_j W_{j,i})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{M}(W_j)^2 \sum_{j=1}^{M}(W_{j,i})^2}},$$

где числитель дроби определяет скалярное произведение векторов вопросов, знаменатель - произведение их длин, а релевантность – косинус угла между этими векторами в Евклидовом пространстве. Одна из наиболее известных весовых функций вес слова записывает следующим образом: $W_i = (TF)_i \times (IDF)_i$.

Здесь W_i – вес, приписываемый слову t_i,

$(TF)_i$ – частота термина в запросе,

$(IDF)_i$– обратная частота по всем запросам базы данных.

Таким образом, похожесть сообщений определялась с помощью вычисления значения косинусоидальной меры похожести [3], представляющую косинус угла между векторами. Определение смыслового класса, к которому следует отнести заявку, проводилось методом машинного обучения - иерархической кластеризации путем поиска ближайшего соседа среди векторов, представляющих предыдущие обращения и уже имеющих класс.

Определение класса сообщения должно происходить за четыре следующих шага.

- Преобразование нового сообщения в вектор.
- Поиск ближайшего сообщения в базе предыдущих сообщений.
- Присвоение новому вопросу того же класса, что и у найденного ближайшего к нему;
- Направление нового вопроса (сообщения) оператору для подтверждения правильности классификации. В случае подтверждения, новое сообщение получает тот же класс и соответственно - ответ, что и у ближайшего к нему сообщения. Если нет, значит нужно добавить новый класс вопросов в систему. Новый класс вопросов вводится . Этот случай будет рассматриваться как особый. Ответ будет дан оператором.

Со временем, система будет ошибаться всё реже, и взаимодействие человека с системой сведётся к минимуму. Готовые ответы на сообщения будут формироваться поиском сообщений, наиболее похожих на новое сообщение, из истории вопросов/ответов

В представленном алгоритме основной задачей является сопоставления запросов: поиск ближайшего соседа. Используемый метод подходит для быстрого решения в низкоразмерных пространствах. В настоящее время не существует подходящего способа быстро определить ближайших соседей в высокоразмерных пространствах. Поэтому в случае векторов большой размерности использовались приблизительные результаты, а именно искались не ближайшие, а близкие соседи. Эта задача называется - приблизительный поиск ближайших соседей и сейчас является областью активных исследований в машинном обучении.

Для выполнения быстрого приблизительного поиска ближайшего соседа была использована свободно распространяемая библиотека - nmslib (Python), предоставляющая возможности для ускорения поиска ближайшего соседа среди векторов большой размерности. Метод Иерархический маленький мир (Hierarchical Navigable Small World Graph - HNSW) из данной библиотеки предоставляет одно из самых быстрых решений. Поисковая структура в HNSW является многоуровневой, в которой каждый уровень является графом близости. Каждый узел графов соответствует одному из векторов запросов. Алгоритм поиска показан на рис. 2.

Такой подход работы с текстом, становится актуальным из-за роста производительности современных компьютеров.

Процесс машинного обучения, а именно, обучение выбранной модели, начинается с разбиения имеющихся данных (dataset) на данные для обучения (train set) и оценки (validation set) (рис.3). Модель обучается на тренировочных данных (train set). В результате получаем параметры модели, которые позволяют ей эффективно выполнять свою функцию. Для оценки качества и выбора лучшей модели была использована валидационная выборку (validation set), на которой модель не обучалась.

Проверка разработанной системы на двух искусственно созданных выборках данных: вопрос/ответ и вопрос, показала оптимистический результат (совпадение выше 80%). Однако эти выборки данных нельзя считать репрезентативными, и валидация системы упирается в добычу датасетов.

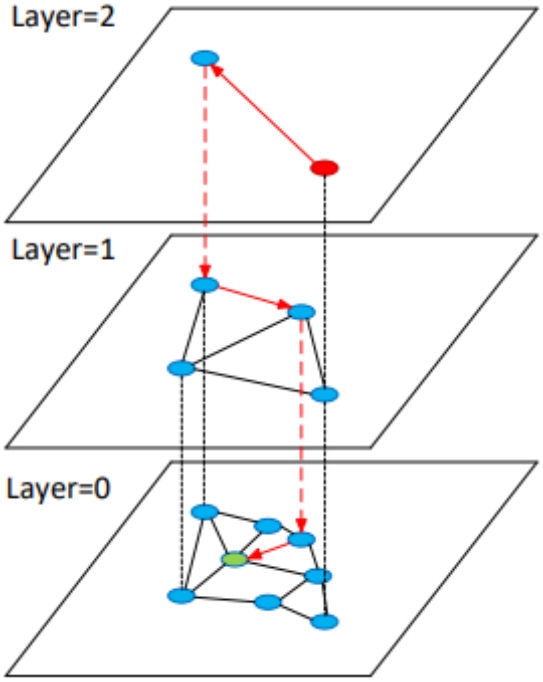


Рисунок 2 – Визуальный алгоритм поиска ближайшего соседа в многослойном графе [4]

Рисунок 3 - Разбиения данных для обучения и оценки

Поэтому было проведено дополнительно обучение и тестирование системы для классификации текстов на данных из статьи [5], в которой приведены результаты тестирования многих традиционных методов. В таблице 1 приведена информация об используемых текстах.

Таблица 1

Выборка	Число классов	Размер обучающей выборки	Размер тестовой выборки
DBPedia	14	560000	70000

DBPedia — названия и аннотации статей из Википедии. Объем обучающей выборки 560000 объектов, объем тестовой выборки 70000 объектов. Тексты классифицировались на 14 классов: компания, образовательное учреждение, художник, спортсмен, чиновник, средство передвижения, здание, природное место, деревня, животное, завод, альбом, фильм, литературное произведение.

Результаты классификации, которые оценивались с помощью метрики accuracy (точность), то есть считалась доля верно классифицированных объектов к общему количеству объектов, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Данные	Итерации	TF-IDF - ***алгоритм***	Метод HNSW
DBPedia	8000	0.953	0.829

Эксперимент показал ожидаемый результат. В данном эксперименте размерность векторов была существенно меньше 100, количество классов было также очень небольшим и для проведения классификации достаточно было 8000 итераций. В таких условиях прекрасно справляется точный TF-IDF – ***алгоритм***. Скоростное преимущество приближенного метода HNSW начинает сказываться в многомерных пространствах, от (100-1000 размерностей), когда TF-IDF – ***алгоритм не*** может быстро определить класс.

Для справочной системе аэропорта было разработано два взаимозаменяемых аналитических модуля (плагинная архитектура), реализующих TF-IDF – ***алгоритм и*** метод HNSW, которые могут использоваться, тот или иной, в зависимости от репрезентативных реальных данных (вопрос/ответ) для обучения справочной системы аэропорта.

База данных системы обеспечивает хранение следующих данных:

Вопросы и обращения.

Тексты вопросов и обращений с указателями на ответ.

Таблица соответствия классов.

Таблица классов (категорий) вопросов.

Таблица слов, известных системе, хранящая частоту появления отдельного слова в обращениях, известных системе.

Для реализации модулей использовалось свободно распространяемое программное обеспечение. Были выбраны инструменты с открытым исходным кодом.

Заключение.

Разработана автоматизированная справочная система аэропорта, использующая технологию машинного обучения, повышающая эффективность работы службы за счет переноса ответственности за выполнение рутинных операций на компьютеры, а также за счет предоставления доступа к истории вопросов/ответов из объединённых баз данных партнёрских авиакомпаний. Результатом внедрения системы должно быть повышение качества обслуживания и комфорта авиапассажиров.

Преимуществом системы является используемая при проектировании системы плагинная архитектура, которая дает возможность безболезненно заменять модули приложения, подключать новые модули, не меняя существенно остальные модули системы [6], что особенно актуально для таких активно развивающихся технологий как машинное обучение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Муравьев К.А., Манушян Д.Г. Анализ принципов построения самоорганизующихся сенсорных сетей // Труды Международного симпозиума «НАДЁЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО». 2018, Т.1, с. 296- 301.

2. Васильев В. Г., Кривенко М. П. Методы автоматизированной обработки текстов - М.: ИПИ РАН, 2008. – 305 с.

3. TF-IDF – Википедия Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/TF-IDF (дата обращения: 19.12.2019)

4. Malkov Yu. A., Yashunin D. A. Efficient and robust approximate nearest neighbor search using Hierarchical Navigable Small World graphs Доступ: https://arxiv.org/abs/1603.09320 (дата обращения: 15.11.2019)

5. Zhang, X. Character-level convolutional networks for text classification / Xiang Zhang, Junbo Zhao, Yann LeCun // In Advances in Neural Information Processing Systems, 2015, Feb. 649 - 657 p

6. Надейкина Л.А., Черкасова Н.И. Использование архитектурных паттернов и функциональной декомпозиции для повышения качества и надежности программного обеспечения. // Труды Международного симпозиума «НАДЁЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО». 2016, Т.1, с. 148-151.

УДК 528.88

Канафин М.Ж., Ондрисов Д.Б., Рустемов А.Р., Керимбай Б.Н, Жакупова А.Е., Ергалиев Д.С.

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Республика Казахстан

МОНИТОРИНГ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИХ СНИМКОВ

В данной статье рассмотрено применение оптических данных для мониторинга зернового производства т.е. прогнозирование урожайности яровой пшеницы по количественному анализу мельчайших различий в спектральных характеристиках и составления карты сельскохозяйственной культуры. На основе данных создание тематической карты посевов яровой пшеницы.

Ключевые слова:

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ОПТИЧЕСКИЕ СНИМКИ, МОНИТОРИНГ УРОЖАЙНОСТИ, СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Введение

Оптические спутниковые сенсоры, способные предоставить полезную информацию для аграрных хозяйств, существуют около 20 лет. Данные съемки охватывают большие территории, подходят для специфических задач агробизнеса и могут быть использованы фермерами.

Сельское хозяйство является важной отраслью национальной экономики Республики Казахстан. В последние годы отмечается активный рост зернового производства – основы экспортной сельскохозяйственной продукции республики. При этом республиканским управляющим органам при увеличении объема дотаций, сокращении размеров налога или выработке политики страховых выплат необходима объективная информация о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения, получение которой становится все более сложной задачей без спутниковых данных [1].

Севера - восточная часть Казахстана является одним из уникальных мест, на котором располагаются крупные компактные массивы зерновых посевов, что делает космический мониторинг землепользования наиболее эффективным. Здесь в производстве доминируют в основном яровые зерновые культуры, занимающие свыше 90 % всех посевных площадей [2].

В настоящее время список задач космического мониторинга сельскохозяйственных угодий Казахстана включает оценку площадей посевов яровых культур, контроль сроков ярового сева, оценку засоренности и состояния зерновых посевов; прогноз валового сбора зерна; контроль сроков уборочных работ и убранных площадей.

Целью данной работы является применение оптических данных для мониторинга зернового производства т.е. прогнозирование урожайности яровой пшеницы и создание карты посева яровой пшеницы Железинского района, Павлодарской области, межевание, т. е. установление границ землепользований, определение посевных площадей и прогнозирование объема урожайности яровой пшеницы.

Основная часть

Создание карты использования земель на основе данных ДЗЗ. Для космического мониторинга сельскохозяйственного производства и состояния посевов зерновых культур использовалась информация со спутника Landsat 8 также были использованы снимки с Sentinel-2 L1C+L2A с пространственным разрешением 10 м.

Разработка ГИС включала создание многослойной электронной карты сельскохозяйственных объектов и атрибутивной базы данных, проводилась с использованием программного обеспечения ArcGIS компании Esri. Графические и тематические базы данных, соединенные с модельными и расчетными функциями позволяют проводить расчет площадей по каждому району, а при внесении кадастровых данных учет может проводиться по каждому субъекту агробизнеса. Согласно инструкциям по работе с программным продуктом ArcGIS (ArcView) было выполнено создание тематических слоев и базы геоданных, что позволило включить в анализ и визуализировать большие объёмы статистической информации на карте (рис. 1).

В начале мая схемы внутрихозяйственного землеустройства передаются главным агрономам в районные управления сельского хозяйства Павлодарской области и руководителям сельскохозяйственных предприятий для сбора информации о возделываемых сельскохозяйственных культурах в текущем году. По каждому сельскохозяйственному предприятию формируется схема размещения возделываемых культур (рисунок 2), на основании которой выполняется наблюдение за определенными культурами с момента появления всходов и до окончания вегетационного периода. Данные о размещении сельскохозяйственных культур используются при прогнозировании урожайности зерновых культур. По мере необходимости производится обновление схем по актуальным спутниковым данным в связи с изменением границ полей, выведением полей из оборота или присоединением новых земель.

Рисунок 1 – Территория посева яровой пшеницы

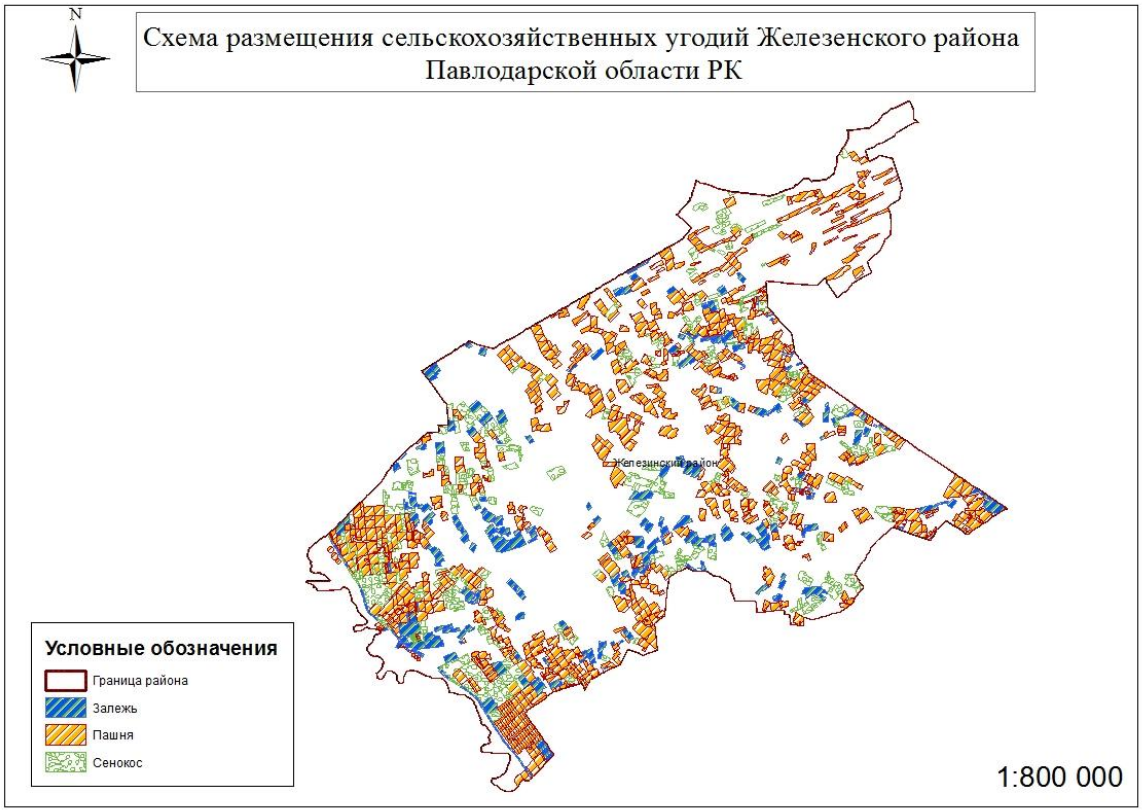


Рисунок 2 - Схема размещения сельскохозяйственных угодий Железинского района, Павлодарской области РК

Также для того, чтобы повысить точность оценки и определения площадей посевов пшеницы было проведено дешифрование контрольных точек. Был выполнен сбор наземной информации, которая использовалась для верификации. В данной работе был взят участок поля №21(5) которая находится в Железинском районе, Павлодарской области, данный участок был засеян яровой пшеницей (рис.3).

Для прогнозирования объема валового сбора пшеницы и оценки посевных площадей, прогноза урожая и определение состояния растительности проводят по количественному анализу мельчайших различий в спектральных характеристиках растений. Обычно, при обработке данных стоит задача отделения растительных объектов от прочих. Для этого используют индекс NDVI. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности – простой количественный показатель количества фотосинтетический активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова [3].

Рисунок 3 - Карта посевов сельскохозяйственных культур Железинского района

Для качественной оценки состояния посевов пшеницы использовались значения вегетационных индексов (NDVI), полученных на основе космических снимков. Обработка космических снимков проводилась на базе электронного ресурса EOS Land Viewer и программного обеспечения ArcGIS.

Система EOS Land Viewer включает в себя набор комбинаций каналов. При выполнении расчетов NDVI из рассмотрения были исключены пиксели космического изображения, соответствующие водным объектам, облачности, открытой почве. После обработки, включавшей процедуры настройки отображения каналов изображения, выделяется область, для которой необходимо рассчитать значения NDVI и в параметре анализа временных рядов получили график изменяя значения NDVI по времени (рис.4). Отсюда следует что при появлении всходов, в течение вегетационного периода, росту биомассы пшеницы соответствует увеличение значений NDVI, а с наступлением периода созревания снижается содержание хлорофилла и, соответственно, значения NDVI [5]. Снижение значений NDVI в период активной вегетации (до наступления фазы молочной спелости) свидетельствует о стрессовом состоянии посевов. Это может быть поражение посевов вследствие стихийных явлений (град, ливни, засуха, пожары), а также поражение вредителями, такими как хлебная полосатая блошка, ячменная шведская муха и др.

Рисунок 4 – Динамика NDVI вегетации пшеницы

Результаты испытания модели биопродуктивности показали, что существует достаточно стабильная зависимость между значениями NDVI и урожайностью яровой пшеницы (рис. 5) которые были разработаны в Сельскохозяйственной научно-исследовательской лаборатории (Grassland Soil and Water Research Laboratory; США, штат Техас). Модель позволяет рассчитывать урожайность различных сельскохозяйственных культур [4].

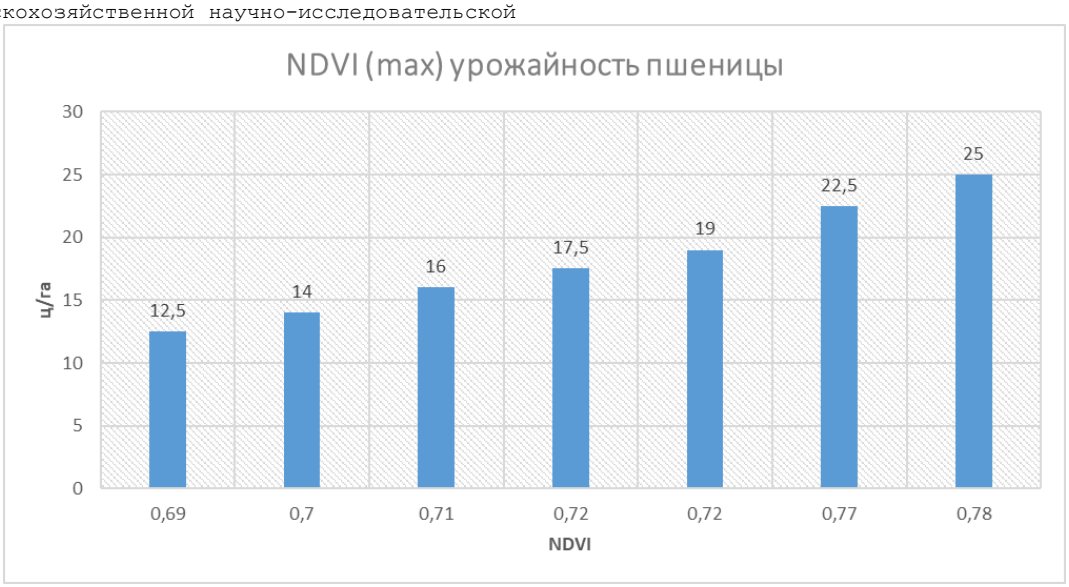


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости между максимальными значениями NDVI и прогностической урожайностью

При оценке состояния посевов на основе NDVI были получены усредненные значения NDVI в рамках отдельного поля пшеницы № 21(5) (табл.1). В период от появления всходов до начала уборки посева. Прогнозирование урожайности пшеницы выполнялось на период от 17.05.18 – 15.08.18 года в Железинском районе, Павлодарской области.

Среднее значение коэффициентов NDVI для определения урожайности Таблица 1

Дата сьемки	NDVI коэффициент (max)
17.05.18	0.37
11.06.18	0.70
16.07.18	0.82
21.07.18	0.72
26.07.18	0.77
15.08.18	0.74
Усредненное значение:	**0.69**

Коэффициент корреляции, рассчитанный по отдельным полям между максимальными значениями NDVI и фактической урожайностью, составил 0,69, что примерно равно 12,5ц/га (рис.4). Отсюда примерный расчет показал, что прогнозируемая урожайность составила 3006,25 центнеров пшеницы с 240,5 га земли.

Таким образом, по результатам космического мониторинга в Павлодарской области, Железинского района была проведена оценка посевных площадей яровой пшеницы. Установлена граница землепользования, определена посевная площадь яровой пшеницы. Применение оптических данных для мониторинга зернового производства позволила выявить прогнозируемую урожайность, которая составила 3006,25 центнеров пшеницы с 240,5 га земли. Вариации урожайности существенно зависят от агрохимического состава почвы, соблюдения оптимальных сроков сева и наличия локальных осадков над отдельными хозяйствами. Практика использования оперативного анализа спутниковых данных для мониторинга сельскохозяйственного производства показала высокую эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журнал Космические исследования и технологии [электронный ресурс] – URL: http://www.unikaz.asia/ru/content/kosmicheskiy-monitoring-selhozproizvodstva-v-rk

2. Муратова Н.Р., Терехов А.Г. Опыт пятилетнего оперативного мониторинга сельскохозяйственных угодий Северного Казахстана с помощью спутниковых данных / Труды Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса», Москва, 10-12 ноября 2003 г., Сборник научных статей, с.277-283.

3. Lur'ye I.S. Geoinformatsionnoe kartografirovanie. Metody geoinformatiki i tsifrovoy obrabotki kosmicheskikh snimkov // Uchebnoe posobie, 2011. S. 1-6.

4. В.Н. Антонов Л.А. Сладких Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ / Журнал «Геоматика» №4 2009 г., Сборник научных статей, с.50-53.

5. Закарин Э.А., Спивак Л.Ф., Архипкин О.П., Муратова Н.Р., Терехов А.Г. Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве Казахстана, Алматы, 1999 г., с. 91-111.

6. Ашуров А.Е., Ермеков Ф.К., Ергалиев Д.С. Применение технологии высокоточной спутниковой навига-ции для мониторинга пространственно-протяженных объектов. Надежность и качество. Труды международного симпозиума. г.Пенза, РФ – 22 -31 мая 2017 г., №2, С. 38-41.

7. Moldamurat K., Kalmanova D., Beybithan T., Yergaliyev D.S. Intelligent mechanism of hinding cryptograp-hically protected communication channel. Надежность и качество. Труды международного симпозиума. г.Пенза, РФ – 21 -31 мая 2018 г., Т.2, С. 25-26.

УДК 517.91

Yemelyev A., Moldamurat Kh., Yergaliyev D., Nurbyergen Y., Koshkarbay N.Zh.

Eurasian national university. L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan

SCOPE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE XXI CENTURY

The article describes the technical scope and relevance of an unmanned aerial vehicle, as well as provides a software system. We consider unmanned aerial vehicles and technologies for their use in the largest countries of the world that have been used to date .

Unmanned aerial vehicle-refers to the classification of robot aircraft. Remote control of ground-based sensing , reconnaissance, and scanning of unmanned aerial vehicles is performed at the station by remote control. Mechatronic sensors are also used for these aircraft and for docking with both the supply ship and the new modules when performing maneuvers.

Keywords:

REMOTE SENSING OF THE EARTH, UNMANNED AERIAL VEHICLE; OPERATIONAL TECHNOLOGIES; ROBOTIC AIRCRAFT

INTRODUCTION

Unmanned aerial vehicles with remote control and operations performed by the automatic control system are specially programmed and provided with neural and robotic functions. Unmanned aerial vehicles are the cheapest and most affordable to use, as well as the safest among spacecraft [1].

Due to the development of space robotics, unmanned aerial vehicles are very effective for ground reconnaissance. Because there are no harmful emissions in nature.

At present, many types are found in connection with the calculation of the development of electronics and radio communications. But for automation all UAVs are considered by 2 types:

- Remote control;
- Fully automated

And by design, we use the considered UAVs of the Ski King type of aircraft. Earth exploration is 10 times larger , but the image quality will be high. You can fix this problem by reducing the speed.

Currently, the scope of UAVs is growing . This device, originally used for military purposes, allows it to be used in agriculture under the influence of the development of GPS and radio communication systems.

Agriculture, in turn, is divided into two major parts, crop production and livestock grazing. UAVs used in the field of crop production are of great importance in the market, but they do not correspond to horse breeding.

MAIN PART

An aircraft with an unmanned aerial vehicle " for itself " is equipped with an artificial intelligence system. Researchers provide an opportunity to independently solve the work of artificial intelligence in the block camera of an aircraft with the choice of object and other conditions. That is the results of the work of aircraft in neural-robotic unmanned flights are effective [2].

Robotic aircraft are used in scientific research, defense control, aerovisual research, and so on, and photos in the space zoning of pilots become more vivid and high- quality. Probing involves an image conversion algorithm to explain data about the Earth and identify a specific object.

The intelligent robotic aircraft effectively performs hazard monitoring and trajectory correction in real time to avoid danger. For this purpose, an intelligent robotic aircraft must clearly know where the aircraft is relative to the Earth's surface (localization), which may pose a danger to the Earth, and the flying vessel must be operating at the present time. To do this, an intelligent robotic spacecraft must be able to assess its condition in order to reliably observe itself and ensure its good maneuverability[3].

Providing intelligent UAV programming: controlling the UAV's servo drive using the ATMega328p microcontroller and controlling signals from the aircraft's servo drive via the I/o port.

In AVR Studio 5.1, tracking the software nature of on-board system parameters from the 8xLEDBoard panel using the ATMegaAVR328P. microcontroller.

For intelligent orientation of UAVs, it is necessary to provide пeneral rules: adjust the signals coming from the microcontrollers ATMega328P in the header under the servo control

of the unmanned aerial vehicle, type the operator's readings and / or sound signals.

a) b)

Figure 1 - a) and b). Working picture of the prototype (unmanned manned aircraft), prepared by the laboratory in the 212 classroom of the L. N. Gumilyov Eurasian National University

To develop a visual signal from the sensor on the servo drive, only device B and C of the ATMega328P microcontroller is used with the addition of the 8xLEDBoard panel to the I /o port.

To simulate the start of sensors (position, angle, pressure, etc.), use the Keypad Matrix, the vertical 4-bit bus continues horizontally in the b - RB0-RB3 port terminals and RB4-RB7 terminals .

To configure the pressing of any of the 16 buttons, you must select the RB0-RB3 wires as the digital output, as well as the inputs with the RB4-RB7 DDRB direction register:

```
LDI R16,0x0F
OUT DDRB,R16
```

Port B setting the single signal RB0-RB3 «1», when the button is pressed, this signal is transmitted to the corresponding input RB4-RB7 .

ATMega328P microcontrollers internal structural block diagram of the destination and applied circuit conclusion.

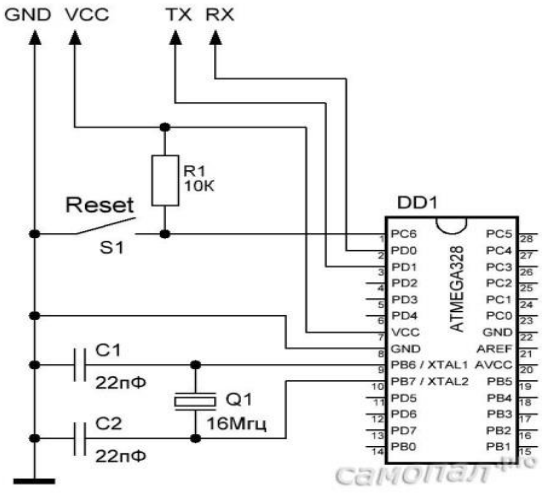


Figure 2 - ATMega328P represented by an internal structural block diagram

System simulation of signals from the UAV

Visual alarm program on the servo drive sensor

Based on the following steps:

- Run the IDE simulator in AVR Studio;;
- click to the Options / Select Microcontroller;

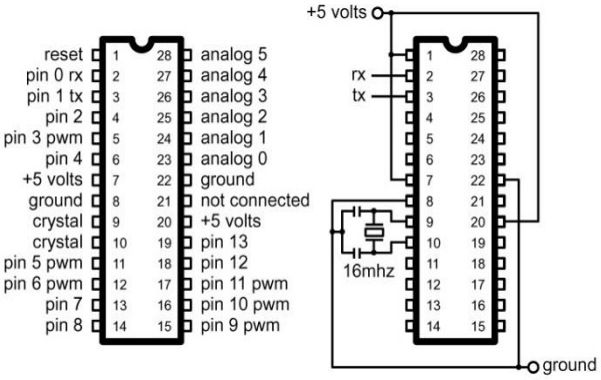


Figure 3 - Purpose of the final indicator of the ATMega328P microcontroller

- select ATmega328P and press the button Select;
- press File / Load Program;
- select sig-avr.hex file, and press the Open button. The program starts loading into memory.
- press Tools/Keypad Matrix - the keyboard opens (default port B);
- press Tools/8xLED Board panel - LED panels opens (port C will download);
- To change the port, you can select the LKM key alternately PORTB, you must press with 0;
- A Select Pin window will appear where you can select the desired port, for example, 0, PORTC; then PORTB, 1, and so on.
- choose Rate / Fast;
- press Simulation / Start button - the simulation starts.

By default, all LEDs will be green. To change the 8xLEDBoard panel, click the green window located opposite the selected outgoing port the AVR Simulater IDE-register window will appear, displaying the possible colors: Green, Red, Yellow, Blue.

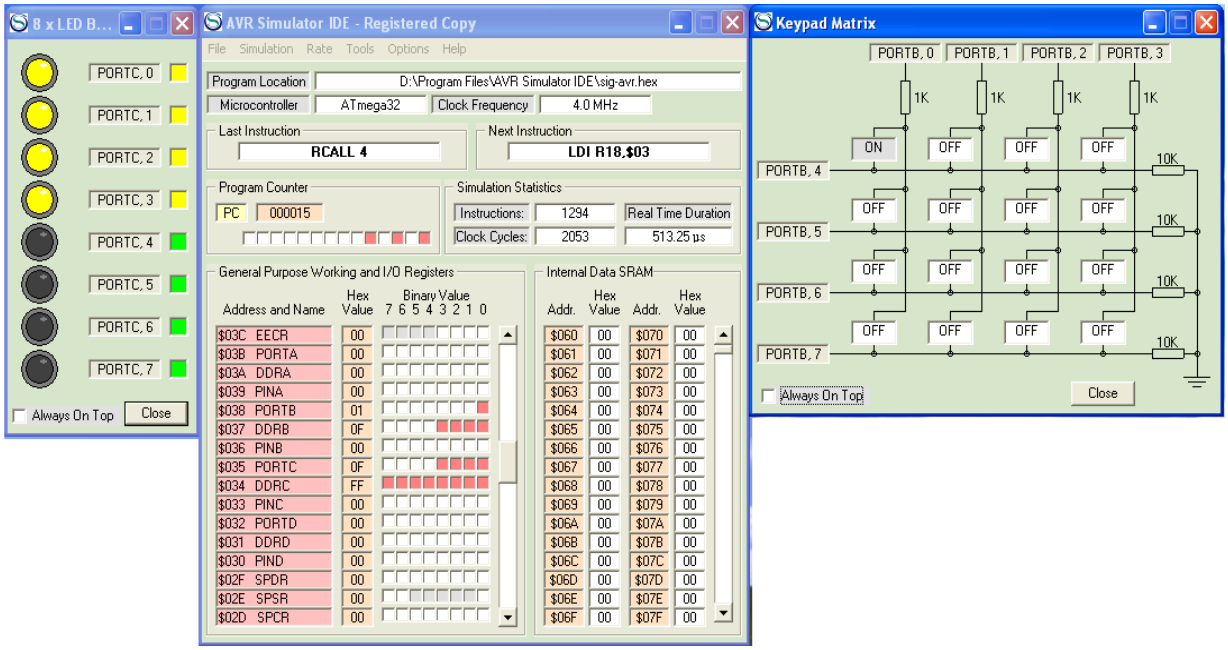


Figure 4 - AVR Studio 5.1 screen representation of the program

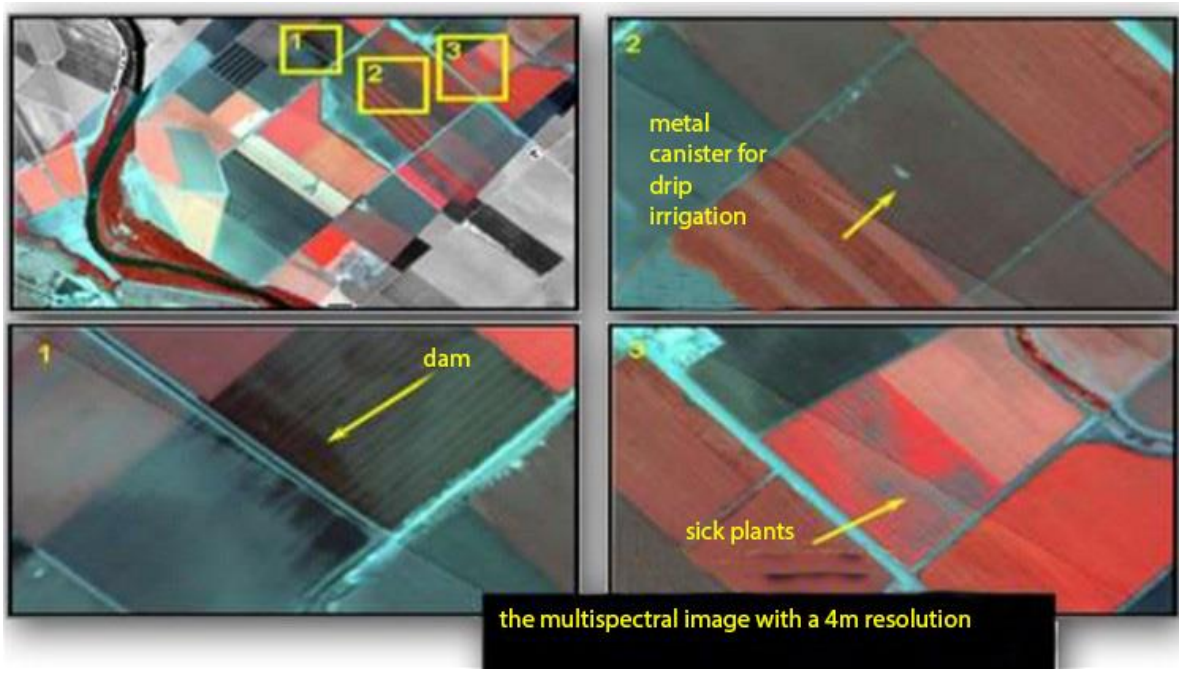


Figure 5 - Remote sensing multispectral image

2. «Signals of sensors for determining the state of the servo drive» program..

Based on the following steps:

- Run the AVR IDE simulator;
- click to the Options / Select Microcontroller;
- select ATmega328P and press the button Select;
- press File / Load Program;
- select beg-avr.hex file, and press the Open button. The program starts loading into memory.
- press Tools / 8xLED Board panel - LED panels open;
- to adjust the position of the window for a better vision;
- choose Rate / Fast;
- press Simulation / Start button - the simulation starts [4].

PRACTICAL PART

UAV capabilities

Currently, the UAV has great potential in agriculture, the defense sector and in the field of scientific research. This is due to the onboard and target installations installed on the UAV. Depending on the target hardware, in which area and for what purpose you can disable work. As an example: shooting with a multispectral camera in the air can determine: determining the nitrogen content of the Earth, monitoring the state of the crop, forecasting the harvest, monitoring the humidity level, etc.

The above multispectral survey is not necessary in horse breeding , and we adapt the finished design to the horse farm. In this work, we provide a heat-sensitive UAV camera(thermal imager), a GPS system , and an audio signal.

The basic principle of a UAV adapted to a horse farm is that first the owner of the horse will install a GPS search sensor to find their location. When the herd was detected, the horse owner was exposed to the same page using the UAV's remote control. After detection of the herd, the counting of the population begins . At night and in hard-to-reach places, you can work through a heat- sensitive camera. After that, we predict the future activities of the circle and, if necessary, you can use a powerful sound signal to turn head in the right place for us.

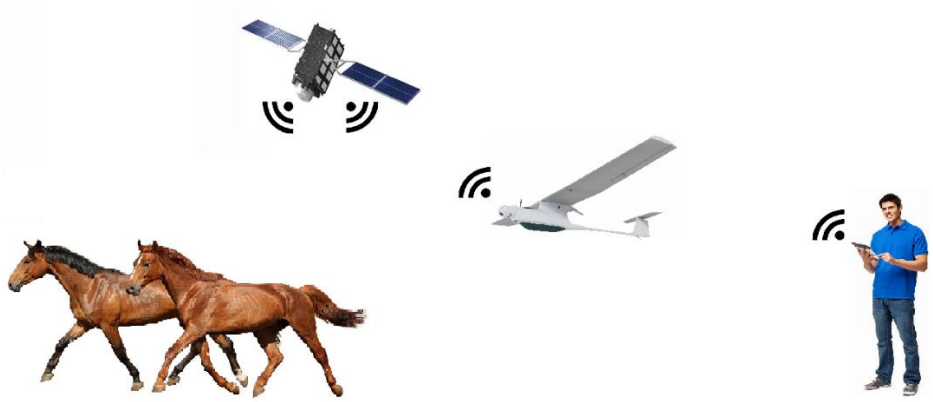


Figure 6 - Displaying the process of performing work through the UAV

CONCLUSION

Unmanned manned aircraft is very effective. Economic losses from all aircraft are cheaper and do not require any costs due to unmanned flight, and the performance of work on the task will be fast and high-quality. When remote earth exploration (OSO) provides high -quality shooting. In accordance with the task of the work, a large role is assigned in scientific research, in the field of defense, in the field of weather, archiological history, as well as in the exploration of emergency situations in nature Because you can load more space on Board where a person is sitting. Restrictions on the volume of unmanned vehicles are not allowed. And the most important advantage is that you can fly up to a distance that a where person can't move.

REFERENCES

1. Rusakov K. Transport cargo ship "Progress-M1" (рус.) // Space news. — 2000. — T. 10, release 207, № 4. — C. 16. — ISSN 1561-1078.
2. Asif Siddiqui, Sputnik and the Soviet space challenge, University press of Florida, 2003,ISBN 081302627X, P. 96.
3. Berger, Brian. NASA passes the x-37 project to DARPA // Space.com, September 15, 2004.
4. K.Moldamurat.,U.C. Kolbay., A. Y. Zhakupova., «Model of ATMega328P microcontroller software under server control of unmanned manned aircraft» № 588, November 19, 2018.
5. U.C. Kolbay., A. Y. Zhakupova., «Relevance of unmanned spacecraft» Kostanai named after academician Zulkarnai Aldamzhar social and technical University Bulletin of technical Sciences Registration No. 15806-Zh, Kostanay, 2018, no. 4. 3-5 S.
6. Dmitriev A., Panas A., Starkov S. Experiments on speech and music signals transmission using chaos // Int. Journal of Bifurcation and Chaos, 1995, v. 5. - P. 371.
7. Cuomo K.M., Oppenheim A.V. Circuit implementation of synchronized chaos with applications to communications //Phys. Rew. Lett. 1993. 71. 1. P. 65-68.
8. Lorenz E.N. Deterministic Nonperiodic Flow. J. Athmos.Sci.20, 130.
9. Schneier B. Applied cryptography. Protocols, algorithms, and source code in C. – M.: TRIUMPH, 2011. – 816 P.
10. Boev N. M. Analysis of the command and telemetry radio link with unmanned aerial vehicles // Bulletin of the Siberian state aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. Release 2 (42) / editor-in-chief, doctor of technical Sciences, I. V. Kovalev. – Krasnoyarsk: SibGAU, 2012. – P.86-91.
11. Fedorov L: P: Approximate methods for optimizing the characteristics of aircraft climb sections / / Proceedings of the TSAGI. - 1987. - Vol. Two 2366
12. https://bitly.su/7og1Ye
13. https://pandia.ru/text/77/416/94994.php
14. Tulegulov A.D., Yergaliyev D.S., Ongarkyzy A., Artykbayev K.S. The importance of researching the satelittes with the purpose of solving problems. Reliability and quality-2013: international Symposium.- Penza, 2013., volume 1. - Pp. 135-138.
15. Moldamurat K., Yergaliyev D., Moldamurat A., Moldan A. Use of the mode-RN microcontro-LLERS in radio engineering devices. Reliability and quality. Proceedings of the international Symposium. Penza, Russia-may 22 -31, 2017, no. 2, P. 32-34.

УДК 621.396.98.004.1

Затучный Д.А., Головина Д.П.

ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации», Москва, Россия

РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

В данной статье были приведены алгоритмы выбора наилучших вычислительных блоков, используемых для полётов воздушных судов в зоне Крайнего Севера. Введён показатель, характеризующий надёжность вычислительного блока с учётом выполнения им нескольких функций. При этом учитывается степень угрозы от невыполнения той или иной задачи. Разработан алгоритм выбора наилучшего вычислительного блока и приведена его блок-схема. Разработан алгоритм выбора наилучшего вычислительного блока для моделирования пространственного движения вертолёта, которые часто используются для перевозок людей и грузов в арктической зоне. При этом был предложен критерий выбора, учитывающий объём вычислительного блока (количество вычислительных машин), параметры надёжности и максимально возможное количество операционных усилителей в вычислительной машине.

Ключевые слова:

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ БЛОК, ПОКАЗАТЕЛЬ НАДЁЖНОСТИ, ВЕРТОЛЁТ, ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Введение

Выполнение требований к точности и надёжности вычислительных операций в технических системах вообще и, в гражданской авиации в частности, являются одной из основных задач настоящего времени. С учётом тенденции перехода основных навигационных, связных и радиолокационных комплексов, используемых для обеспечения безопасности полётов воздушных судов гражданской авиации, на автоматизированный режим работы, т.е. предусматривающий минимальное вмешательство человека, любая ошибка или перерыв в работе вычислительных комплексов может привести к тяжёлым последствиям. Повышение надёжности вычислительных систем известными методами, связанными, например,

с излишним резервированием, может привести к появлению громоздких и высоких по стоимости систем, которые сложно использовать в гражданской авиации. Следовательно, возникает проблема построения вычислительных блоков, основанных на разработке методов оптимизации по критериям надёжности. Особенно актуально решение этой проблемы при выполнении полётов в арктической зоне, с учётом её большой протяжённости и слабой обеспеченности наземными средствами радиотехнического обеспечения полётов.

Построение алгоритма выбора наилучшего вычислительного блока с

учётом выполнения нескольких функций

На сегодняшний день вычислительные системы, используемые в гражданской авиации, выполняют следующие задачи [1]:

прием и комплексная обработка по совокупности параметров

сигналов спутниковых радионавигационных навигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС и GPS;

2) ввод, хранение и использование действующей полётной информации;

3) расчёт возможных траекторий полёта;

4) отображение цифровой карты местности с возможностью управления объемом отображаемой информации и масштабом отображения;

5) выдача информации в сопрягаемые системы.

Введём следующие обозначения:

p_i - вероятность выполнения i-й задачи, i=1,…,5.

m_i- весовой коэффициент, показывающий степень возможной угрозы при невыполнении i-й задачи, i=1,…,5.

При этом необходимо учитывать и возможные ошибки 1 и 2 рода, которые возникают при оценке выполнения каждой из задач:

принято решение, что задача выполнена, хотя, на самом деле, это не так (обозначим её вероятность ε_i);

принято решение, что задача не выполнена, хотя, на самом деле, она решена (обозначим её вероятность δ_i).

Введём показатель, характеризующий надёжность вычислительного блока с учётом

выполнения нескольких функций:

$$L = \sum_{i=1}^{5} m_i p_i + \delta_i \qquad (1)$$

Если этот показатель превышает некоторое предельное значение D, то принимается решение о возможности использования этого вычислительного блока, в противном случае даётся отказ в его использовании.

Введём величину f, которая может принимать одно из возможных дискретных значений 0 или 1:

0 – вычислительный блок годен для использования;

1 – выдаётся отказ для его использования.

Таким образом, условие использования вычислительного блока можно записать следующим образом:

$$L \geq D, \text{то} \cdots f = 0 \quad f = 1, \text{в … противном случае} \qquad (2)$$

Если имеется несколько вычислительных блоков с показателями надёжности $L_1, L_2, \ldots, L_n$, то наилучший блок выбирается с наивысшим показателем надёжности, т.е.

$$L_{наил.} = max(L_1, \ldots, L_n) \qquad (3)$$

На рис.1 приведена граф-схема алгоритма проверки годности вычислительного блока и выбора наилучшего блока с точки зрения выполнения всех функций.

В таблице 1 приведено сравнение двух вычислительных блоков по предложенному алгоритму – бортовой многофункциональной системы (БМС) [3] и вычислительного блока 21 – Т341, установленного на воздушном судне «Сухой Суперджет – 100» [2,3].

Эти вычислительные блоки приведены на рис. 2 и 3.

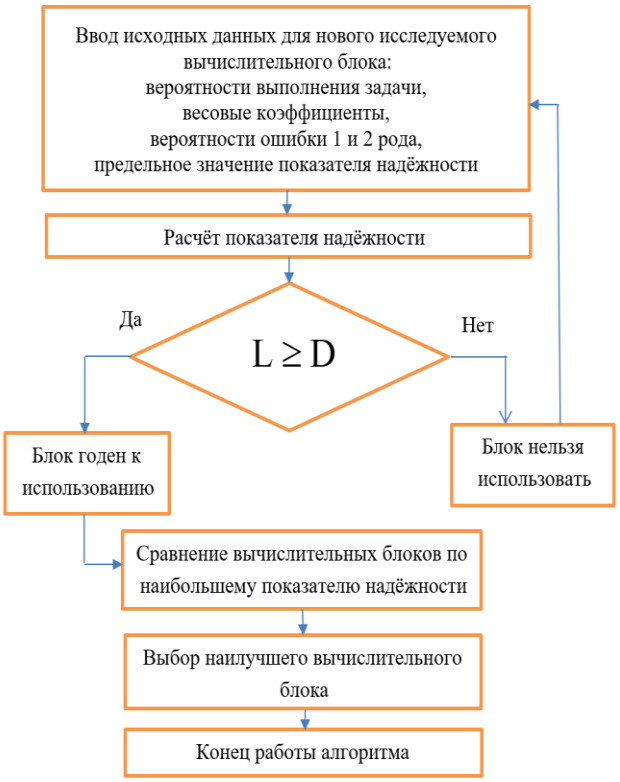


Рисунок 1 - Блок-схема алгоритма проверки годности вычислительного блока и выбора наилучшего блока с точки зрения выполнения всех функций

Построение наилучшего вычислительного блока для моделирования пространственного движения вертолёта

В настоящее время вертолёты являются одним из основных средств для обеспечения перевозок воздушным путём в регионе Крайнего Севера.

На сегодняшний день имеется два различных подхода для создания бортовых вычислителей, устанавливаемых на вертолётах.

Таблица 1

Сравнение по предложенному алгоритму БМС и вычислительного блока 21 – Т341

Название вычислительного блока	Вероятности выполнения задачи	Весовые коэффициенты	Ошибки 1 и 2 рода	Показатель надёжности, предельно допустимый показатель, вывод о годности вычислительного блока	Наилучший вычислительный блок
БМС	$p_1 = 0{,}999$ $p_2 = 0{,}999$ $p_3 = 0{,}995$ $p_4 = 0{,}99$ $p_5 = 0{,}991$	$m_1 = 2$ $m_2 = 1{,}7$ $m_3 = 1{,}5$ $m_4 = 1{,}2$ $m_5 = 1{,}3$	$\varepsilon_i = 0{,}01$ $\delta_i = 0{,}015$	$L_1 = 7{,}68$, D=5,5 Блок пригоден для использования в гражданской авиации	$max(L_1, L_2) = 7{,}68$. Следовательно, наилучшим вычислительным блоком является в данном случае БМС
21 – Т341	$p_1 = 0{,}999$ $p_2 = 0{,}992$ $p_3 = 0{,}995$ $p_4 = 0{,}991$ $p_5 = 0{,}99$	$m_1 = 2$ $m_2 = 1{,}7$ $m_3 = 1{,}5$ $m_4 = 1{,}2$ $m_5 = 1{,}3$	$\varepsilon_i = 0{,}01$ $\delta_i = 0{,}015$	$L_2 = 7{,}67$, D=5,5 Блок пригоден для использования в гражданской авиации	

Рисунок 2 - Бортовая многофункциональная система (БМС)

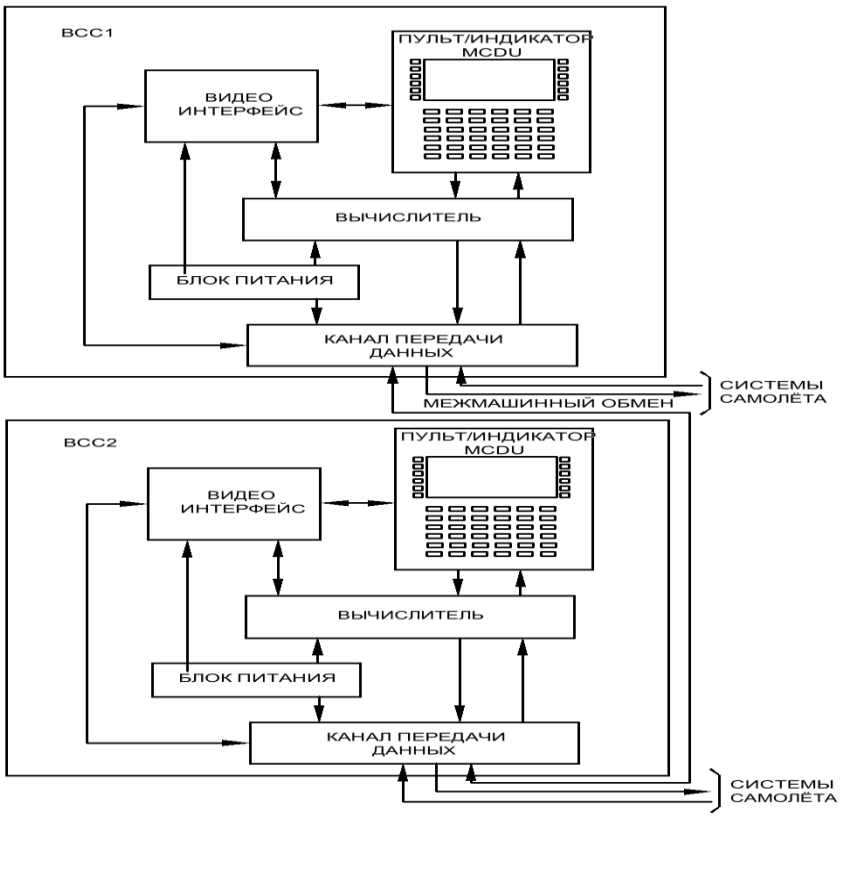


Рисунок 3 - Функциональная схема вычислительного блока 21 – Т341

Суть первой концепции основана на применении элементов с максимально высокой надёжностью, при этом избегая дополнительных структурных связей между этими элементами, т.е. исключая лишнее резервирование.

Тем не менее, в настоящее время получил большое распространение и подход к построению бортовых вычислителей, основанный на избыточности структуры, предполагающий дополнительный резерв элементов, требования к вероятности безотказной работы каждого из которых заключается в превышении некоторого предельного нижнего значения. При этом бортовые вычислители, построенные на основе этого подхода, обладают определёнными недостатками [4,5]:

значительное увеличение массы и объёма аппаратуры, что имеет

принципиальное значение при размещении на борту воздушного судна;

в элементах могут присутствовать различные виды отказов, чем больше

элементов присутствует в структуре, тем больше вероятность отказа хотя бы одного элемента;

отказы могут случаться и при переключении резервных элементов.

Своевременное выявление отказа в вычислительном блоке, находящемся на борту воздушного судна гражданской авиации, также является довольно большой проблемой, так как, помимо наличия точной, надёжной, а, иногда, и дорогостоящей диагностической аппаратуры, в данной ситуации её приходится применять в условиях ограниченного временного ресурса.

В настоящее время вертолёты применяются повсеместно в гражданской авиации для полётов в труднодоступные районы, перевозке вахт для работы на буровых вышках, которые, иногда, располагаются в морской акватории, а также для проведения работ на побережье.

При этом перед бортовыми вычислителями, установленными на борту вертолёта, встаёт задача моделирования его пространственного движения [6,7].

Маршрут по трассе для вертолётов может достигать 500 км. При полёте по трассе могут быть сложные метеоусловия, например, высокая облачность, а также маршрут полёта вертолёта может проходить в горной местности. Помимо этого, следует учитывать и тот факт, что вертолёт более чем самолёт чувствителен к боковому ветру.

Подобная задача решается путём использования одной или нескольких вычислительных машин типа МН – 17М. В каждой из них может находиться до 300 операционных усилителей.

Предлагается следующий критерий выбора блока, составленного из совокупности вычислительных машин типа МН-17М:

$$\begin{gathered} V \to min, \\ R \geq \gamma, \\ n \leq N, \end{gathered} \qquad (4)$$

где V- это объём вычислительного блока (количество вычислительных машин типа МН-17М), R- функция надёжности, γ - предельно допустимое значение функции надёжности (в данном случае $\gamma = 0{,}999$), n – количество операционных усилителей в вычислительной машине, N – предельно возможное число этих операционных усилителей.

Следует отметить, что, в зависимости от типа вертолёта, модификация наилучшего вычислительного блока может меняться.

При этом данный вычислительный блок должен быть совместим с другими системами и устройствами, находящимися на борту вертолёта, а также отвечать требованиям отечественных и международных государственных документов и стандартов.

Заключение

В данной работе были получены следующие результаты:

Введён показатель, характеризующий надёжность вычислительного блока с

учётом выполнения нескольких функций при осуществлении полётов в арктической зоне;

Разработан алгоритм проверки годности вычислительного блока и выбора

наилучшего блока с точки зрения выполнения всех функций;

Приведено сравнение двух вычислительных блоков по предложенному

алгоритму – бортовой многофункциональной системы (БМС) и вычислительного блока 21– Т341, установленного на воздушном судне «Сухой Суперджет – 100»;

На рис. 4 приведена графическая блок-схема алгоритма, реализующего этот критерий.

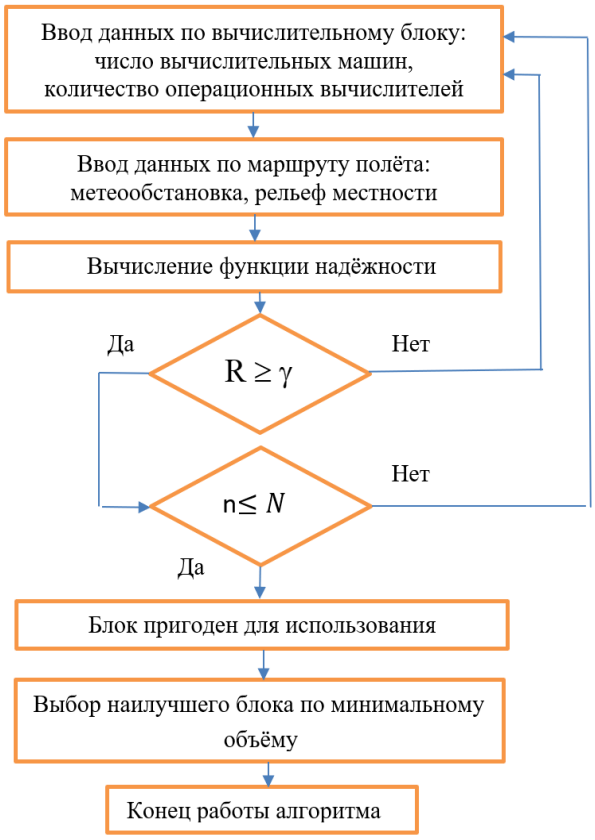


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма построения наилучшего вычислительного блока для моделирования пространственного движения вертолёта

Предложен критерий выбора блока, составленного из совокупности

вычислительных машин для моделирования пространственного движения вертолёта;

Разработан алгоритм построения наилучшего вычислительного блока

для моделирования пространственного движения вертолёта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Затучный Д.А., Головина Д.П. Программа выбора наилучшей системы из разнотипных элементов по критерию надёжности (ПВС КН). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019665466. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22 ноября 2019 г.

2. Затучный Д.А., Головина Д.П. Построение наилучшего вычислительного блока для воздушного судна гражданской авиации. - Журнал «Информатизация и связь», №4, 2019, стр. 102-106.

3. БМС-индикатор. Руководство по технической эксплуатации. НГТК. 461531.001-18 РЭ.

4. SUKHOY. PPJ-96. Руководство по технической эксплуатации. 2017.

5. О.А. Евтушенко, Д.А. Затучный. Исследование зависимости между ограниченной мощностью бортового вычислителя и точностью навигационных определений с использованием аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем. - Труды Международного симпозиума "Надёжность и качество", 2015, том 1, стр. 68-70.

6. Затучный Д.А. К вопросу о достоверности передаваемой информации в режиме автоматического зависимого наблюдения. – Труды Международного симпозиума Надёжность и качество, Том 1, 2016, стр. 225-226.

7. Затучный Д.А., Колодий П.П. Метод оценки достоверности передаваемой информации при помощи видеосистем в гражданской авиации. - Труды Международного симпозиума Надёжность и качество, Том 1, 2008, стр. 309-312.

УДК 621.396.98.004.1

Затучный Д.А., Маслов А.К., Эрич М.Й.

ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации», Москва, Россия

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ В РАДИОСВЯЗНОМ КАНАЛЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ ПОЛЁТЕ В ПОЛЯРНЫХ ШИРОТАХ

В данной статье были приведены алгоритмы выявления погрешностей в системе связи воздушного судна гражданской авиации при полётах в регионе Крайнего Севера. Приведена последовательность шагов для определения достоверности подобной переданной с борта воздушного судна информации. Предложен алгоритм сравнения стандартных параметров голосового сообщения с реальными, содержащимися в конкретном сообщении пилота, полученном в ходе радиосвязного обмена. При этом учитывается разный приоритет оценок. Приведена блок-схема этого алгоритма. Получены математические формулы вероятностей ошибок первого и второго рода при оценке достоверности голосового сообщения.

Ключевые слова:

РАДИОСВЯЗНОЙ КАНАЛ, ДОСТОВЕРНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ, ГОЛОСОВОЕ СООБЩЕНИЕ, ПОГРЕШНОСТЬ В КАНАЛЕ СВЯЗИ

Введение

Следует отметить, что в течение полёта воздушного судна гражданской авиации (ВС ГА), особенно в полярных широтах, могут возникать помехи различного рода, воздействующие на работу радиосвязных каналов. Подобные воздействия, как естественные, так и искусственные, могут привести к отказу работы систем связи ВС с наземными пунктами. Такие отказы могут проявляться как в перерыве работы всей системы, так и в передаче по ней ошибочной информации. Последствиями, в обоих случаях, может стать ошибочная информация о местоположении ВС ГА, например, о высоте полёта, что может привести к опасным сближениям ВС или даже авиакатастрофе, особенно на этапах полёта с ограниченным временным ресурсом (заход на посадку, смена эшелона или коридора). В данной статье приведены алгоритмы, дающие возможность быстро выявить погрешность в голосовом сообщении с борта ВС ГА при радиообмене.

Алгоритм выявления погрешностей в радиосвязном канале на основе

использования системы опорных оценок

При анализе любого сообщения, передаваемого по радиосвязному каналу с борта ВС ГА в наземный пункт необходимо учитывать следующие факторы [1,2]:

1) Информация о ВС ГА, с которого передаётся сообщение. О ВС ГА обычно известно его примерное положение. В случае большого отличия этой информации от информации, переданной по радиосвязному каналу, необходимо сделать соответствующие выводы о возможности доверять переданной информации.

2) Информация об экипаже ВС ГА. В этом случае следует быстро сделать вывод об эмоциональном состоянии человека, передающего сообщение. Это можно сделать на основе анализа параметров звуковой волны.

При этом следует учитывать такие факторы, как наличие различных частот в голосовом сообщении и их отклонение от стандартной частоты, свойственной речи конкретного члена экипажа ВС ГА [3]. Подобная информация может быть зафиксирована в определённой системе, находящейся в наземном пункте связи с ВС ГА. Эта система может анализировать количество отклонений от некоторого стандарта и при превышении некоторого допуска делать вывод о том, насколько достоверна информация, переданная голосовым сообщением по каналу связи.

Это имеет достаточно принципиальное значение для отдалённых аэродромов, где, на сегодняшний день, большая часть информации с борта ВС ГА, в том числе и навигационная, получается путём голосового радиообмена.

Предложим следующую последовательность шагов для определения достоверности подобной переданной с борта ВС ГА информации:

Выявление частотных характеристик голосового сообщения.

Сравнение этих характеристик с некоторыми стандартными.

Выявление возможного превышения предельного отклонения.

В случае возникновения подобной ситуации запросить подтверждение информации с борта ВС ГА.

Экспертиза сложившейся ситуации.

На рис.1 приведена блок-схема всей последовательности приведённых выше действий.

На основе предложенной выше последовательности действий был разработан следующий алгоритм сравнения стандартных параметров голосового сообщения с реальными, содержащимися в конкретном сообщении пилота, полученном в ходе радиосвязного обмена.

Вводится вектор, представляющий из себя совокупность стандартных параметров голосового сообщения и реальных, содержащихся в конкретном голосовом сообщении.

Введём следующие обозначения: $\overrightarrow{X_1},\dots,\overrightarrow{X_N}$

$\overrightarrow{X_1},\dots,\overrightarrow{X_N}$ - набор стандартных параметров голосового сообщения,

$\overrightarrow{Y_1},\dots,\overrightarrow{Y_N},\dots$, - набор характеристик голосового сообщения, переданных в настоящий момент времени по каналу связи,

N - количество анализируемых характеристик,

$$T = \left(\overrightarrow{X_1},\dots,\overrightarrow{X_N};\overrightarrow{Y_1},\dots,\overrightarrow{Y_N}\right)$$

- вектор совокупности стандартных характеристик голосового сообщения и параметров реального голосового сообщения, переданного с борта ВС ГА в настоящий момент времени.

Представляется возможным сделать вывод, что в сообщении присутствует погрешность (или имеются сомнения в его достоверности), если хотя бы по одному элементу последовательность $\overrightarrow{X_1},\dots,\overrightarrow{X_N}$ отличается от последовательности $\overrightarrow{Y_1},\dots,\overrightarrow{Y_N}$

Следует заметить, что для анализа сообщения, переданного с борта ВС ГА, иногда может быть недостаточно одной оценки.

Вводится система опорных оценок $\gamma_1,\dots,\gamma_m$.

Каждому вектору совокупности $T = \left(\overrightarrow{X_1},\dots,\overrightarrow{X_N};\overrightarrow{Y_1},\dots,\overrightarrow{Y_N}\right)$ имеет смысл поставить в соответствие некоторое значение α_i, характеризующее состояние голосового сообщения.

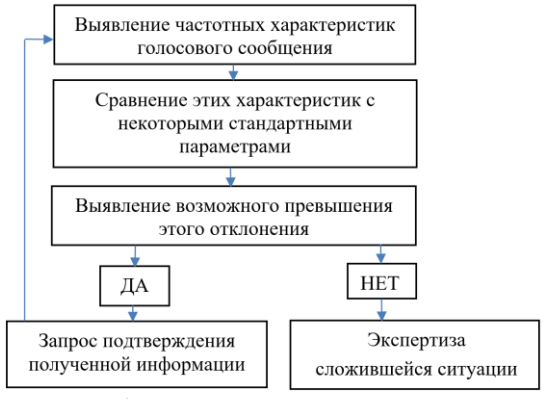


Рисунок 1 - Последовательность шагов для определения достоверности переданной с борта ВС ГА информации

Далее задаётся последовательность предельных значений β_i.

В случае выполнения соотношения $(\alpha_i - \gamma_i) < \beta_i$, считается, что данная i — я оценка не обнаружила погрешность при радиосвязном радиообмене. В противном случае, считается, что эта оценка обнаружила погрешность.

Каждой i -й оценке поставим в соответствие некое число λ_i, принимающее одно из двух возможных дискретных значений 0 или 1.

Будем считать, что оно принимает значение 0, если погрешность в сообщении не выявлена или 1, если погрешность в радиосвязном обмене обнаружена.

Следует заметить, что проверяемые параметры голосового сообщения могут иметь различную степень важности. Таким образом, при оценке голосового сообщения или иного сообщения, переданного с борта ВС ГА в наземный пункт, следует учитывать и вес полученной оценки [4].

Следует провести анализ оценок по приоритету и каждой оценке поставить в соответствие численное значение, которое обозначим через m_i и определим как вес оценки относительно исследуемого параметра голосового сообщения.

Далее рассчитывается соотношение $M = \sum_{i=1}^{m} m_i \lambda_i$, которое сравнивается с априорно определённым из опыта предельным значением M'. В случае выполнения неравенства $M < M'$ делается вывод, что погрешность в сообщении отсутствует, а, в противном случае, делается вывод, что погрешность обнаружена.

Блок-схема этого алгоритма приведена на рис.2.

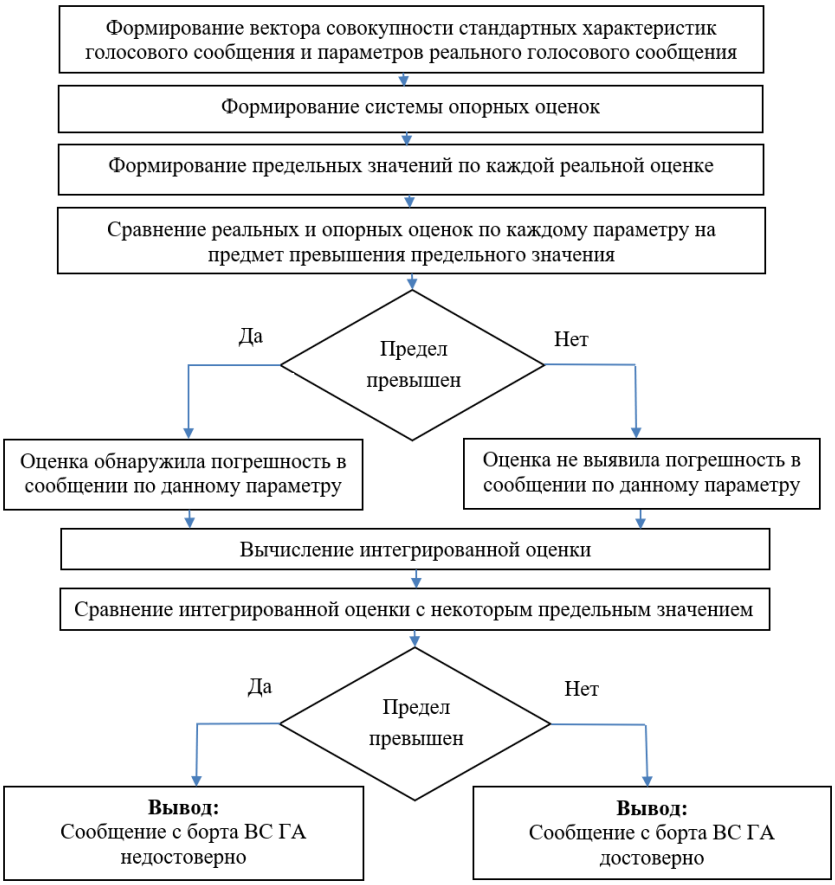


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритма выявления погрешностей при голосовом радиосвязном обмене

Определение ошибок при обнаружении погрешностей в радиосвязном канале при голосовом обмене

При выявлении погрешности в канале связи при голосовом радиообмене могут возникать два типа ошибок:

1) i -я оценка не выявила погрешность в голосовом сообщении, хотя подобное событие имело место.

Обозначим вероятность подобной ошибки через ε_i.

Это значение может быть записано следующим образом:

$$\varepsilon_i = P(\lambda_i = 0/\lambda_i = 1); \quad (1)$$

2) i -я оценка дала заключение о наличии погрешности в голосовом сообщении, хотя такого события на самом деле нет.

Обозначим вероятность подобной ошибки через δ_i.

Это значение может быть записано следующим образом:

$$\delta_i = P(\lambda_i = 1/\lambda_i = 0). \quad ё(2)$$

Причиной подобных ошибок могут стать следующие факторы [5,6]:

1) недостаточный объём полученной информации;

2) погрешности аппаратуры, выявляющей погрешности в голосовом сообщении при радиообмене;

3) некие субъективные факторы, связанные с регионом, где происходит полёт ВС ГА, электромагнитные воздействия на аппаратуру искусственного и естественного характера, неблагоприятная метеорологическая обстановка и т.д;

4) так называемый «человеческий фактор», связанный с неверной экспертной оценкой по достоверной информации.

Сделаем предположение, что при проведении i-й оценки рассматриваются t_i таких условий, где $i = 1,\ldots,m$.

Обозначим вероятность возникновения каждого такого условия через $\eta_{t_i}^i$.

Вероятность ошибки, связанной с «человеческим фактором», определим как $p(\Delta)$.

Следует сделать замечание, что все перечисленные выше условия не являются независимыми, а зависят один от другого. Помимо этого, ошибки, связанные с «человеческим фактором» и с физическими явлениями объективного и субъективного характера, могут происходить одновременно.

Таким образом, используя формулу полной вероятности [7], получим выражение для вероятности ошибки 1 рода:

$$\varepsilon_i = \left[\left(\sum_{t_i=1}^{k_i} \eta_{t_i}^i P\left(\lambda_i = \frac{0}{\eta_{t_i}^i}\right)\right) + p(\Delta)\right] - \left[p(\Delta)\sum_{t_i=1}^{k_i} \eta_{t_i}^i P\left(\lambda_i = 0/\eta_{t_i}^i\right)\right] \quad (3)$$

Проведя тот же ход рассуждений, получим подобное выражение для вероятности ошибки 2 рода:

$$\delta_i = \left[\left(\sum_{t_i=1}^{k_i} \eta_{t_i}^i P\left(\lambda_i = \frac{1}{\eta_{t_i}^i}\right)\right) + p(\Delta)\right] - \\ -\left[p(\Delta)\sum_{t_i=1}^{k_i} \eta_{t_i}^i P\left(\lambda_i = 1/\eta_{t_i}^i\right)\right] \quad (4)$$

Вероятности возникновения условий $\eta_{t_i}^i$, а также вероятности ошибок, связанных с «человеческим фактором» , 1 и 2 рода при оценке достоверности голосового сообщения по каждому отдельному фактору могут быть получены из данных наблюдений и обработки статистических данных.

В случае большого количества оцениваемых факторов выражения (3) и (4) могут оказаться довольно громоздкими для вычислений. Таким образом, при проведении описанной выше процедуры следует предварительно провести анализ и сортировку по приоритетности всей полученной информации, чтобы свести число этих факторов к приемлемому минимуму.

Блок-схема алгоритма определения ошибок 1 и 2 рода приведена на рис.3.

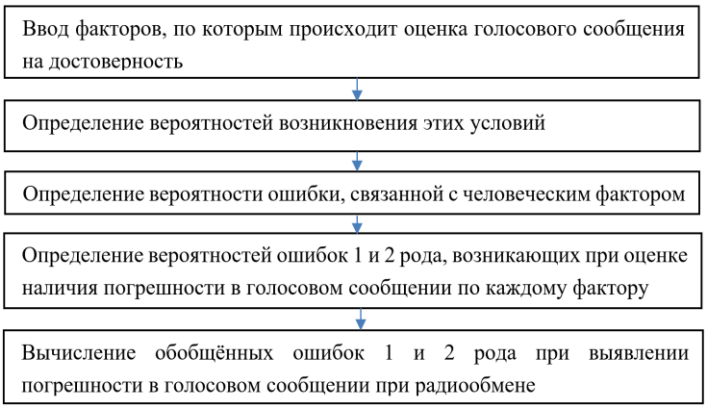


Рисунок 3 - Блок-схема алгоритма определения ошибок 1 и 2 рода при выявлении погрешности в голосовом сообщении

Заключение

В данной статье были получены следующие результаты:

Предложена последовательность шагов для определения достоверности переданного с борта ВС ГА голосового сообщения.

Построена блок-схема этой последовательности.

Разработан алгоритм выявления погрешности в голосовом сообщении при радиообмене.

Построена блок-схема этого алгоритма.

Разработан алгоритм определения ошибок 1 и 2 рода при выявлении

погрешности в голосовом сообщении.

Построена блок-схема этого алгоритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Затучный Д.А., Маслов А.К., Эрич М.Й. Выбор топологии расположения наземных средств обеспечения полётов для улучшения точности выявления навигационной погрешности. - Журнал «Информатизация и связь», №4, 2019, стр. 169-173.

2. Затучный Д.А. Определение ложной информации по голосу пилота. - Труды Международного Симпозиума «Надёжность и качество», Пенза, 2010, Том 1, стр. 429-430.

3. Затучный Д.А. Метод передачи данных с борта воздушного судна в городских районах в режиме автоматического зависимого наблюдения с целью снижения эффекта отражения волн. - Научный Вестник МГТУ ГА №176, 2012, стр. 145-148.

4. Затучный Д.А. К вопросу о достоверности передаваемой информации в режиме автоматического зависимого наблюдения. – Труды Международного симпозиума Надёжность и качество, Том 1, 2016, стр. 225-226.

5. Затучный Д.А. Определение степени влияния среды на систему связи. – Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации, №152, 2010, стр. 91-98.

6. Яманов Д.Н. Основы электродинамики и распространение радиоволн. - М.:МГТУ ГА, 2006.

7. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: учеб.для вузов.-5-е изд. стер./ Е.С.Вентцель.- М.: Высш. шк., 1998. – 576 с.

УДК 004.89, 004.94, 338.24

Маслобоев А.В., Путилов В.А.

Институт информатики и математического моделирования Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия

ПРОБЛЕМАТИКА И ИНСТРУМЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РЕГИОНА

В работе рассматриваются проблемы и средства информационно-аналитической поддержки управления кадровой безопасностью региона. Приводятся характеристика и классификация угроз кадровой безопасности региональной экономики, их виды и структура. Представлены результаты исследований и разработок в области создания информационных технологий управления региональной кадровой безопасностью. Предложены полимодельный комплекс, информационная технология организации мультиагентной среды моделирования и система поддержки принятия решений в сфере обеспечения кадровой безопасности. Разработки базируются на совместном применении методов концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования и обеспечивают прогноз кадровых потребностей отраслей региональной экономики. Это позволяет оценить потенциальные возможности региональной системы подготовки кадров и выявить проблемные зоны по обеспечению региона трудовыми ресурсами.

Ключевые слова:

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА, УПРАВЛЕНИЕ, КАДРОВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, РЕГИОН, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА

Введение

Развитие и поддержание интеллектуального потенциала региона – ключ к эффективному управлению региональной безопасностью и обеспечению приемлемого уровня защищенности социально-экономической системы на перспективу с учетом динамически изменяющихся условий. В связи с этим кадровая безопасность является одной из важных составляющих региональной безопасности и непосредственно влияет на уровень безопасности развития региона. Качественное кадровое обеспечение основных отраслей региональной экономики позволяет создать благоприятные условия для экономического роста, обеспечивает социальную стабильность и возможность выхода региона на новый технологический уровень.

Кадровая безопасность региональных социально-экономических систем определяется как комплекс организационных мер и средств информационной

поддержки, направленных на управление кадрами с точки зрения выявления проблемных зон в кадровой обеспеченности предприятий региона и выработку рекомендаций по устранению нежелательных эффектов проводимой кадровой политики на всех уровнях принятия управленческих решений [1]. Для обеспечения кадровой безопасности необходимо подготавливать и распределять трудовые ресурсы так, чтобы они обеспечивали кадровые потребности различных отраслей региональной экономики, как в текущих условиях, так и на перспективу.

Как для Мурманской области, так и для других регионов страны актуальной является задача оценки потенциальных возможностей региональной системы подготовки кадров и своевременное выявление угроз обеспечению региона трудовыми ресурсами. Прогноз кадровых потребностей региона в условиях вариативности кадрового заказа обеспечивает возможность синтеза стратегий развития регионального рынка труда для повышения кадрового потенциала региональной экономики.

Для решения этой задачи нашли применение разработанные в ходе исследований полимодельный комплекс и средства информационной поддержки, обеспечивающие анализ и методическое сопровождение процессов формирования кадровых потребностей региона, а также оценку потенциальных угроз кадровой безопасности региональной экономики.

Под угрозами кадровой безопасности региона, согласно исследованию [2], понимается совокупность условий и факторов, создающих опасность жизненно важным интересам участников социально-трудовых отношений, которые препятствуют эффективному и гармоничному развитию человеческих ресурсов. Угрозу кадровой безопасности можно трактовать как конфликт интересов региона, организации и наемного персонала в отношении развития человеческого потенциала.

1. Характеристика и классификация угроз кадровой безопасности региона

Регион, как субъект РФ, выступает частью национальной экономики, что определяет существование общих угроз кадровой безопасности, вызванных едиными тенденциями не только национального развития, складывающимися под воздействием совокупности внешних и внутренних факторов, но и тенденциями воспроизводства и капитализации ключевого актива - человеческих ресурсов.

Вместе с тем, он выступает относительно обособленным, самостоятельным субъектом хозяйственной деятельности, что обуславливает возникновение соответствующих рисков и угроз эффективному развитию человеческих ресурсов, специфика которых определяется ресурсными, природно-климатическими и социально-экономическими региональными особенностями.

Анализ проблем управления кадровой безопасностью показывает, что системному изучению угроз кадровой безопасности, их факторов и разновидностей в отечественных и зарубежных исследованиях уделяется недостаточное внимание. Постановка проблемы выявления и оценки угроз кадровой безопасности региона является перспективной, но при этом практически не исследованной областью. Эта проблема требует детальной научной проработки.

Выявление угроз кадровой безопасности региона необходимо для комплексной оценки его внешней и внутренней среды, анализа и группировки факторов деструктивного характера, снижающих его кадровую безопасность. В современной научной литературе подчеркивается необходимость исследования проблем и угроз кадровой безопасности, складывающихся на региональном и федеральном уровнях, а также определения специфичных угроз, характерных для конкретных регионов. При этом большое значение имеет структуризация угроз. Это позволяет комплексно представить угрозы кадровой безопасности региона, формируемые на различных уровнях управления, обладающих различным разрушительным потенциалом.

Составляющими угрозы кадровой безопасности региона являются [2]:

субъект угрозы (тот, кто реализует угрозу): носители угроз (социальные группы, формальные и неформальные структуры, чья деятельность порождает угрозы), источники природного и техногенного характера, явлений и процессов;

предмет угрозы: жизненно важные интересы субъектов социально-трудовых отношений (работодателей и наемных работников региона);

объект угрозы (то, на что направлена угроза): система социально-трудовых отношений;

индикаторы угрозы: вред (ущерб) в результате реализации угрозы, наличие уязвимостей в защите жизненно важных интересов как условие реализации угрозы.

Соотношение угроз кадровой безопасности региона показано на рис. 1.

Рисунок 1 - Соотношение угроз кадровой безопасности региона [2]

Угрозы кадровой безопасности региона классифицируются следующим образом [2]:

Угрозы, порожденные недостатками и ошибками в политике и действиях государственных и политических, властных институтов в области развития человеческих ресурсов. В настоящее время региональная политика в области управления человеческими ресурсами не имеет стратегической ориентации и зачастую носит характер оперативного реагирования на возникающие проблемы, что приводит к возникновению рисков реализации человеческого потенциала и угроз эффективному развитию человеческих ресурсов.

Угрозы, возникающие из-за неэффективного управления экономической, социальной, интеллектуальной региональной безопасностью.

Угрозы, вызванные недостаточно высоким нравственным потенциалом государственных и муниципальных служащих региона, который вызывает следующие отклонения в их профессиональном поведении:

профессионально-деятельные: бюрократизм, коррумпированность и взяточничество, стремление использовать свою работу в корыстных целях, пренебрежение к законам;

профессионально-нравственные: безразличное, неуважительное отношение к людям, непорядочность, нечестность, отсутствие принципиальности;

профессионально-функциональные: имитация бурной деятельности, безответственное отношение к своим обязанностям.

Угрозы, связанные с деградацией населения, подрывающие механизмы регионального воспроизводства человеческих ресурсов.

Угрозы, вызванные деформацией социально-трудовых отношений в регионе, которые связаны с развитием теневых экономических отношений и коррупции, диспропорциями регионального развития.

Структура и содержание угроз кадровой безопасности региона приведены в таблице.

Классификация угроз кадровой безопасности региона [2] Таблица

Признак классификации	Разновидности угроз	Характеристика
Источник их возникновения	Внешние	Возникают вне региона (исходят от регионов, где обеспечивается наивысшая капитализация человеческих ресурсов, властных структур и средств массовой информации, неправительственных организаций и т.д.)
	Внутренние	Образуются внутри региона (исходят от криминальных структур, средств массовой информации, обусловлены неэффективной региональной политикой в области развития человеческих ресурсов и т.д.)
Степень охвата	Общие	Характерны для страны, общества в целом
	Специфические	Свойственны для данного региона
Природа возникновения	Политические	Возникают из-за политических разногласий с федеральными органами власти, неэффективной кадровой политики региона и т.д.
	Экономические	Проявляются из-за слабой трудовой мотивации, отсутствия эффективной программы экономического развития, высокого уровня безработицы, низкого качества жизни населения, развития теневой экономики, чрезмерного уровня дифференциации доходов населения и др.
	Демографические	Обусловлены высокими темпами миграции населения, низкой пространственной мобильностью человеческих ресурсов, старением населения и др.
	Социальные	Вызваны неэффективной региональной социальной политикой, ограниченностью средств на развитие социальной сферы, низкой социальной ответственностью работодателей региона, неэффективным профсоюзным движением и т.д.
	Технико-технологические	Порождены недостаточно эффективной реализацией инновационного потенциала региональной экономики, низким уровнем развития инновационных технологий, неэффективной инновационной политикой, использованием морально устаревших технологий, отсутствием системы профессиональной подготовки и переподготовки квалифицированных кадров и т.д.
	Экологические	Возникают из-за экологической загрязненности региона, неэффективной локализации местных производств и т.д.
	Правовые	Обусловлены низкой правовой защищенностью наемного персонала и населения в целом, несовершенством действующего законодательства и т.д.
	Этнокультурные	Вызваны недостаточной продуктивностью межэтнических и межконфессиональных, кросскультурных взаимодействий, падением уровня этнической и конфессиональной комплементарности и т.д.
Вероятность возникновения	Реальные	Осуществляются в любой момент времени
	Потенциальные	Реализуются в случае формирования определенных условий
Отношение к человеческой деятельности	Объективные	Формируются независимо от целенаправленной деятельности
	Субъективные	Создаются сознательно
Возможность противодействия их реализации	Прогнозируемые	Возможно прогнозировать
	Непрогнозируемые	Противодействие реализации угроз ограничено (массовая гибель населения, разрушение социальной инфраструктуры в результате стихийных бедствий и т.д.)
Степень тяжести последствий	Катастрофические	Приводят к резкому ухудшению количественных и качественных характеристик человеческих ресурсов региона
	Значительные	Наносят такие потери, которые оказывают негативное воздействие на состояние человеческих ресурсов региона
	Средние	Незначительное влияние на количественно-качественные параметры человеческих ресурсов
	Низкие	Не оказывают какого-либо существенного воздействия на состояние человеческих ресурсов региона
Последствия их реализации	Всеобщие	Оказывают негативное влияние на развитие человеческих ресурсов страны в целом, соседних регионов
	Локальные	Несут угрозу развитию человеческих ресурсов отдельного региона

Угрозы кадровой безопасности определяются низкой производительностью труда, высоким уровнем дифференциации доходов населения региона и заработной платы, криминализацией экономики, отсутствием квалифицированных кадров на региональном рынке труда, санкционным преследованием, мировыми тенденциями, падением уровня этнической и конфессиональной комплементарности, низким качеством профессионального образования, несовершенством действующего законодательства.

Типы угроз кадровой безопасности региона [3]:

угрозы, связанные с низким трудовым потенциалом региона, обусловленные снижением его количественных и качественных характеристик;

правовые угрозы, в том числе вызванные этическими проблемами во взаимоотношениях субъектов социально-трудовых отношений;

угрозы, обусловленные низким инновационным потенциалом и качеством жизни населения;

угрозы, связанные с низким качеством рабочей силы, ее недостаточной конкурентоспособностью;

угрозы, порожденные недостатками и ошибками региональной власти в области управления человеческими ресурсами;

криминальные угрозы, в том числе коррупция и криминализация экономики.

2. Концептуальная модель кадровой безопасности региона

Формализация задачи управления кадровой безопасностью регионального развития проводилась с применением методов концептуального моделирования и системного анализа [4]. Для описания предметной области была построена концептуальная модель кадровой безопасности региона (КМ КБР), а для представления основных зависимостей между компонентами КМ КБР использовались диаграммы причинно-следственных связей.

КМ КБР разработана в терминах теоретико-множественных операций с элементами математической логики. Модель отражает классический подход к управлению и может быть представлена в виде тройки множеств:

КМ КБР = <*O*, *S*, *R*>,

где:

O - множество объектов управления;

S - множество субъектов управления;

R - множество отношений между элементами множеств.

Множество объектов управления определяется набором подмножеств:

O = <*ES*, *MP*, *RF*, *Pop*, *PB*>,

где:

ES (education system) - система образования региона, куда входят все региональные учебные учреждения и организации переподготовки кадров, дающие определенную квалификацию (профессию);

MP (manpower) - потенциальные трудовые ресурсы, накапливающие всех людей обладающих различными рабочими квалификациями и способными выступать на региональном рынке труда;

RF (redistribution fund) - фонд перераспределения трудовых ресурсов;

Pop (population) - население региона, отражает демографические процессы, протекающие в регионе;

PB (production branch) - отрасли производства, содержащие производственные объекты различных отраслей экономики.

Каждое из этих подмножеств детализировано и имеет свою собственную внутреннюю структуру и завершается описанием объектов на уровне конкретных системно-динамических шаблонов и параметров агентов. В атрибутах объектов модели отражена региональная специфика. Например, такая характеристика как территориальная удаленность от областного центра влияет на средний уровень заработной платы и информационную инфраструктуру.

Множество субъектов управления *S* содержит перечень субъектов, которые принимают участие в управлении кадровой безопасностью, как в роли исполнителей, так и лиц принимающих решения.

На этапе системного анализа предметной области исследования рассмотрено четыре типа отношений *R*:

1) влияние конкретного субъекта управления на объект управления;

2) обратная связь объекта управления на субъект;

3) взаимодействие пары объектов между собой;

4) взаимодействие пары субъектов между собой.

При необходимости данный список может быть расширен в зависимости от задач, решаемых с помощью КМ КБР.

Предлагаемая структура КМ КБР обладает гибкостью, так как позволяет вносить новые объекты в описание предметной области, существенно не меняя структуру модели. КМ КБР обеспечивает формальную основу для создания комплекса имитационных моделей и информационной технологии поддержки управления кадровой безопасностью региона.

3. Комплекс имитационных моделей управления кадровой безопасностью региона

В качестве основного метода организации имитационного моделирования процессов формирования кадровых потребностей региональной экономики используется метод системной динамики [5]. Метод системной динамики применяется для исследования динамически сложных слабо формализованных процессов с множественными обратными связями, что затрудняет применение аналитических методов для их моделирования. С развитием вычислительных ресурсов имитационное моделирование на основе метода системной динамики все шире используется в области исследования и управления социально-экономическими процессами.

Из построенной КМ КБР следует система показателей кадровой безопасности - набор определенных параметров для каждой области безопасности, которые используются в качестве входных параметров соответствующих имитационных моделей. Основное назначение имитационной модели сделать прогноз показателей безопасности при заданных параметрах и ограничениях. Имитационные модели реализуются с помощью агентной технологии [6] и системной динамики. Системно-динамические модели используются для приближенного прогноза и выявления тенденций в динамике показателей безопасности, а агентные модели - для более точных количественных оценок этих показателей.

Переход от концептуальной модели к модели системной динамики реализуется на основе разработанного в Институте информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН метода концептуального синтеза динамических моделей сложных систем [7] и обеспечивающего синтез моделей системной динамики из соответствующих концептуальных моделей.

Сочетание разработанной в рамках метода системно-динамического моделирования технологии «паттернов», обеспечивающей формирование имитационной модели сложного процесса из ограниченного набора системно-динамических шаблонов, с оригинальной технологией синтеза спецификаций исполнительной среды информационно-аналитической поддержки на основе концептуальных моделей, позволяет реализовать технологию гибкого автоматизированного формирования имитационных моделей [8].

В результате, на основе формальной КМ КБР разработана системно-динамическая модель регионального рынка труда. При разработке данной модели учитывались следующие факторы, влияющие на кадровую безопасность региона:

экономические (банкротство убыточных предприятий в регионе, создание новых предприятий);

демографические (естественный прирост, возрастная структура, квалификационная структура, структура трудовых ресурсов региона, миграция населения, уровень подвижности трудовых ресурсов);

социальные (службы занятости, уровень безработицы);

технико-технологические (подготовка и переподготовка квалифицированных специалистов в регионе);

Разработанная системно-динамическая модель регионального рынка труда состоит из следующих основных блоков (подмоделей):

1) трудовые ресурсы (для каждой базовой отрасли региона);

2) система образования;

3) отрасль производства, в том числе предприятия и персонал;

4) население региона;

5) фонд перераспределения трудовых ресурсов.

Подмодель «*Трудовые ресурсы*» ориентирована на имитацию перераспределения трудовых ресурсов для каждой отрасли по возрастам и категориям (рабочие, специалисты, управленцы) в зависимости от образования. Здесь учитываются занятые и незанятые трудовые ресурсы. Подмодель обеспечивает возможность оценить уровень безработицы, а также

перенасыщенность кадрами определенной специальности.

На выходе отдельной имитационной модели «*Система образования*» получается количество молодых специалистов в зависимости от уровня образования и профессиональной направленности, поступающих на рынок труда. Эти данные являются входными для блока «*Трудовые ресурсы*» и «*Фонда перераспределения*».

Основной задачей подмодели «*Отрасль производства*» является имитация процессов в региональной экономике, влияющих на возникновение и ликвидацию рабочих мест в каждой базовой отрасли региона. Данный вид подмодели состоит из двух компонентов: «*Предприятия*» и «*Персонал*». Компонент «*Предприятия*» отражает классификацию предприятий в зависимости от численности рабочих мест (малые, средние, крупные) и имитирует процесс возникновения и ликвидации предприятий, а также их реструктуризацию (переход на следующий уровень развития). Это позволяет отслеживать количество рабочих мест. Компонент «*Персонал*» отражает движение трудовых ресурсов в конкретной отрасли (наем, увольнение) и наличие свободных и занятых мест, что позволяет оценить нехватку кадров определенной категории.

Подмодель «*Фонд перераспределения*» ориентирована на имитацию движения трудовых ресурсов между отраслями региональной экономики.

Подмодель «*Население*» отражает динамику численности населения региона в зависимости от возраста. В данной подмодели учитываются миграционные процессы, рождаемость и смертность населения. Подмодель позволяет оценить потенциальную численность общих трудовых ресурсов.

Разработанная в ходе исследований имитационная модель позволяет оценить кадровую потребность различных отраслей народного хозяйства и перенасыщенность кадров отдельных категорий работников, а также уровень безработицы. Модель отражает специфику отраслевой направленности региона и может быть использована административным аппаратом органов исполнительной власти региона и отделами по управлению кадрами отдельных предприятий.

На основе применения мультиагентных технологий [6, 10] разработана агентная имитационная модель системы образования региона (рис. 2), которая предоставляет данные для системно-динамической модели регионального рынка труда, а именно формирует поток кадров для рынка труда. В свою очередь потребности регионального рынка труда передаются в качестве параметров в модель системы образования.

Входными параметрами, получаемыми из подмоделей «*Населения*» и «*Фонд распределения трудовых ресурсов*», являются:

студенты (могут обучаться по очной и заочной форме обучения с полной образовательной программой);

выпускники средних специальных учебных заведений (могут обучаться по очной и заочной форме обучения с полной образовательной программой, а также по заочной форме обучения с сокращенной образовательной программой);

выпускники высших учебных заведений (могут обучаться по заочной форме обучения с сокращенной образовательной программой).

Основными объектами в разработанной модели являются активные агенты типа «*Студент*» с набором параметров: знания, результаты ЕГЭ, мотивация (заинтересованность), личные качества (способности), здоровье, физкультура, спорт, отдых, работа. Способности определяются тестированием, здоровье экспертной оценкой, а все остальные признаки являются формальными. В ходе моделирования образовательного процесса агенты данного типа взаимодействуют с агентами типа «*Преподаватель*» со своим набором параметров. Каждый агент типа «*Преподаватель*» передает каждому агенту типа «*Студент*» определенные знания, конечный уровень которых будет зависеть от восприятия и усвоения студентом. Таких уровней у каждого агента типа «*Студент*» будет количество, равное количеству дисциплин учебного плана. Уровень, по сути, характеризует оценку, полученную студентом по определенной дисциплине. Учебный план - это предметы, которые преподаются во всех семестрах всех курсов, в той или иной степени связанные друг с другом. Степень их влияния друг на друга определяется сопряженностью областей знаний и временным отставанием одного предмета от другого.

Рисунок 2 - Агентная имитационная модель системы образования региона

В ходе моделирования учебного процесса в конечном итоге получается массив оценок, показывающий успеваемость студента. Если по всем предметам учебного плана за четыре года получены положительные оценки, то студент становится выпускником с дипломом. Для получения агрегированных показателей выпускников учебных заведений с определенной квалификацией в модели используются специальные накопители, в которых производится суммирование всех успешно получивших диплом по определенной специальности.

Для разработки системно-динамических и агентных имитационных моделей использовались инструменты моделирования Powersim и Anylogic соответственно.

4. Информационная технология управления кадровой безопасностью региона

Для поддержки принятия решений в области региональной кадровой политики разработана информационная технология поддержки управления кадровой безопасностью региона, представляющая собой интеграцию комплекса имитационных моделей [9] и специального программного обеспечения (рис. 3).

Комплекс имитационных моделей [9] служит средством апробации различных управленческих решений в области кадровой политики отдельных предприятий базовых отраслей экономики Мурманской области (горнодобывающая, химическая, транспортная, сфера обслуживания и другие). Основной задачей комплекса моделей является получение прогнозов различной временной перспективы (краткосрочных и среднесрочных) потребностей региональной экономики по каждому виду специализации работников и трудовых ресурсов, подготовленных и переподготовленных региональной системой образования и подготовки кадров.

Рисунок 3 - Технология поддержки управления кадровой безопасностью региона

Модели построены для основных объектов кадровой безопасности развития региона, таких как: система подготовки кадров (система образования), фонд перераспределения трудовых ресурсов, базовые отрасли экономики. Объект «*Система образования*» включает в себя учебные заведения среднего, специального и высшего профессионального образования, а также учреждения повышения квалификации и переподготовки кадров. Объект «*Фонд перераспределения трудовых ресурсов*» введен в комплекс моделей для выполнения роли связующего звена между компонентами «*системой подготовки*» и «*потребителями кадров*» и включает в себя как легальных работников, стоящих на государственной бирже труда, так и не легальных. «*Базовые отрасли региональной экономики*» рассматриваются как основные потребители кадров и в тоже время заказчики, формирующие спрос на конкретных специалистов.

Для решения задач согласования имитационных моделей между собой и автоматизации процесса обработки и анализа результатов моделирования необходимо специальное программное обеспечение. В ходе исследований спроектирован макет данного программного комплекса и реализованы его базовые функциональные компоненты. Программный комплекс имеет модульную структуру и включает в себя следующие основные компоненты:

1) приложения, обеспечивающие организацию взаимодействия между компьютерными моделями, реализованными в среде агентного имитационного моделирования Anylogic [10];

2) программы, выполняющие автоматизированный синтез моделей из шаблонов и анализ результатов моделирования [8].

Система автоматизации обработки результатов моделирования представляет собой веб-приложение, состоящее из следующих модулей:

пользовательский интерфейс - связующее звено между конечным пользователем и программным комплексом;

база данных - обеспечивает хранение оперативной и долгосрочной информации;

блок излечения данных - предназначен для организации процедур экспорта данных из конкретных имитационных моделей по параметризованному запросу;

блок представления результатов - представляет результаты анализа в форме необходимой конечному пользователю;

блок анализа результатов моделирования – осуществляет консолидацию, фильтрацию, выборку по параметрам данных, учитывая требования пользователя и ограничения предметной области.

Отличительной особенностью разработанной информационной технологии является использование имитационного моделирования как инструмента прогнозирования для задач управления кадровой безопасностью региональной экономики. Созданные имитационные модели содержат ранее не учитывающиеся в существующих исследованиях по рассматриваемой проблематике блоки, имитирующие такие процессы как формирование запросов к системе образования и формирование кадровых потребностей различных отраслей за счет динамики (возникновения, банкротства, инновационного развития) предприятий региона.

Технология предназначена для ускорения процесса формирования аналитической информации для принятия решений в области управления подготовкой и перераспределением рабочих кадров в соответствии с потребностями региональной экономики, а также позволяет оценить потенциальные возможности региональной системы подготовки кадров.

5. Система информационной поддержки управления кадровой безопасностью региона

Для информационной поддержки принятия решения в сфере управления качеством образовательных услуг регионального научно-образовательного комплекса разработана мультиагентная система поддержки управления качеством высшего образования. Система и реализующие ее информационные технологии позиционируются как средство поддержки принятия решений в сфере высшего образования.

Основная задача разработанной программной системы заключается в получении качественной оценки действующей системы образования с целью ее корректировки для получения результатов более высокого уровня. Кроме того, программная система

позволяет создать наиболее выгодный с точки зрения соотношения трудозатрат и итоговых результатов сценарий обучения студента в реальных или идеализированных условиях.

Программная система представляет собой имитационную агентную модель образовательного процесса, реализованную средствами агентного имитационного моделирования в инструментальной среде Anylogic, и комплекс программ, осуществляющих поддержку принятия решения (рис. 4). Для разработки системы использована интегрированная среда программирования Codegear RAD Studio 2009. Входящие в состав системы веб-приложения реализованы с помощью Apache, PHP и MySQL.

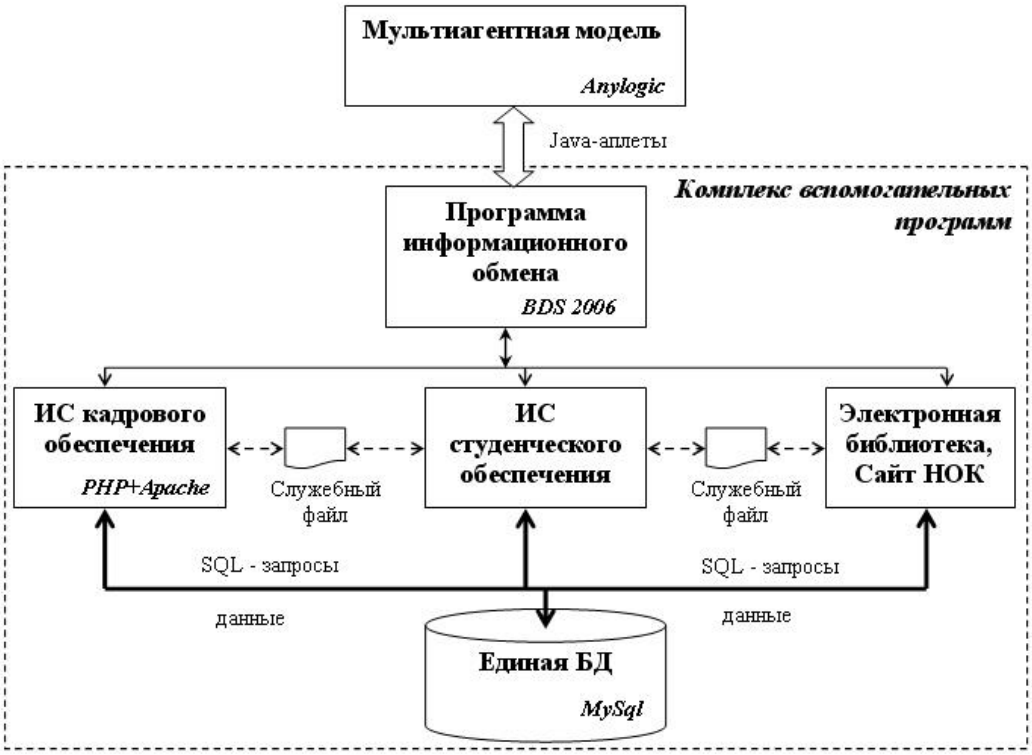


Рисунок 4 - Компоненты мультиагентной системы поддержки управления качеством образования

В контексте стандарта ISO 9001 [11] разработанную программную систему можно рассматривать как средство для решения задач управления качеством. Управление качеством осуществляется на основе имитационного моделирования за счет проигрывания различных сценариев организации учебного процесса в научно-образовательном комплексе.

Система обеспечивает выполнение следующих основных функций:

хранение данных о лицах, принимающих участие в образовательном процессе;

формирование данных для заполнения параметров имитационной модели управления качеством образования конкретными значениями;

осуществление взаимодействия с мультиагентной моделью;

обработка результатов имитации; формирование отчетов.

В состав программной системы, архитектура которой представлена на рис. 5, входят следующие функциональные компоненты: блок пользовательского интерфейса, блок конфигурирования системы, база данных активных сущностей, блок сохранения и восстановления конфигурации, блок моделирования задачи управления качеством образования, блок моделирования задачи распределения приоритетов, блок моделирования обратной задачи, мультиагентная модель, блок формирования отчетов.

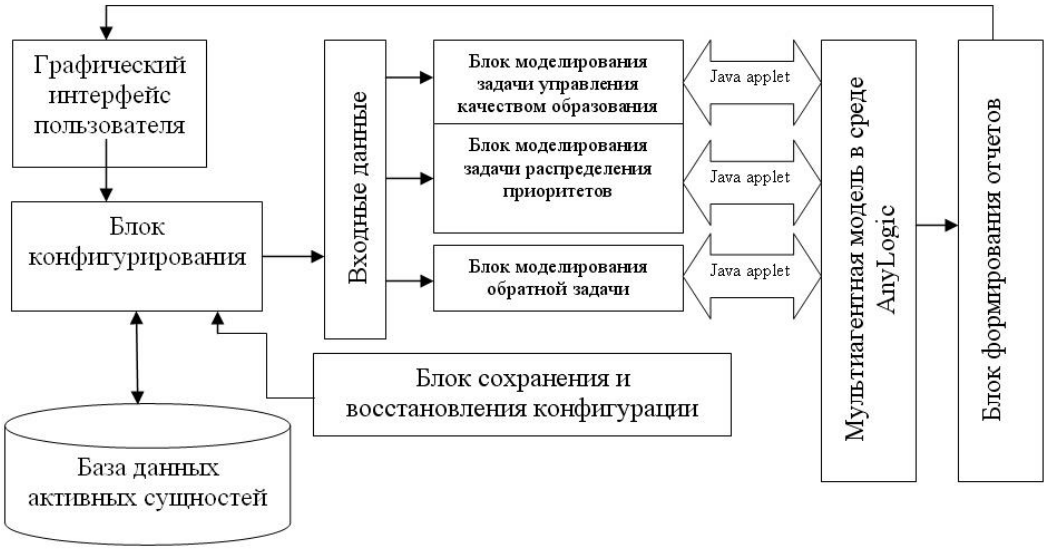


Рисунок 5 - Архитектура программной мультиагентной системы поддержки управления качеством образовательного процесса ВУЗа

Потенциальными пользователями созданной системы являются лица, занимающиеся вопросами оценки и управления качеством образовательных процессов в учебных заведениях, в частности, сотрудники отделов управления качеством, руководящий состав кафедр или факультетов. Система с описанным набором функциональных возможностей, в первую очередь, может применяться в управленческой деятельности ВУЗов как средство поддержки принятия решений при организации образовательных процессов, связанных с обучением студентов.

Система апробирована при решении задач синтеза стратегий управления качеством образовательных процессов в Мурманском арктическом государственном университете (филиал в г.Апатиты) – опорном региональном ВУЗе Мурманской области.

Заключение

В ходе исследований получены следующие основные результаты:

Проведен системный анализ проблем управления кадровой безопасностью региональных социально-экономических систем.

Определены характеристики, структура и типы угроз кадровой безопасности региональной экономики.

Предложена концептуальная модель кадровой безопасности региона.

Разработаны комплекс имитационных моделей и средства информационной поддержки управления кадровой безопасностью региона.

Полученные результаты планируется использовать для составления прогнозов о реализации мероприятий дорожной карты регионального стандарта кадрового обеспечения промышленного роста, в том числе для оценки дополнительной кадровой потребности предприятий горно-химического кластера Мурманской области.

Результаты исследований и сформированные на их основе рекомендации получены в рамках выполнения государственного задания ИИММ КНЦ РАН (тема № 0226-2019-0035). Научное обоснование и программная реализация созданного модельного инструментария выполнены при поддержке РФФИ (проект № 19-07-01193-а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслобоев А.В., Путилов В.А. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 222 с.

2. Кузнецова Н.В., Носырева И.Г. Виды и структура угроз кадровой безопасности региона. // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2013. №2. С. 48-52.

3. Кузнецова Н.В., Тимофеева А.Ю. Проблемы и инструментарий выявления угроз кадровой безопасности региона // Экономика региона. 2016. Т. 12, вып. 4. С. 1123-1134.

4. Емельянов С.В., Попков Ю.С., Олейник А.Г., Путилов В.А. Информационные технологии регионального управления. М.: Эдиториал УРСС, 2004. 400 с.

5. Путилов В.А., Горохов А.В. Системная динамика регионального развития. Мурманск: НИЦ «Пазори», 2002. 306 с.

6. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems. Second Edition. John Wiley & Sons, 2009. 484 p.

7. Путилов В.А., Горохов А.В., Олейник А.Г. Технология автоматизированной разработки динамических моделей для поддержки принятия решений // Информационные ресурсы России. 2004. №1. С. 30-33.

8. Маслобоев А.В., Олейник А.Г., Шишаев М.Г. Информационная технология дистанционного формирования и управления моделями системной динамики // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15, №4. С. 748-755.

9. Путилов В.А., Маслобоев А.В., Быстров В.В. Комплекс имитационных моделей поддержки управления региональной безопасностью // Надежность и качество сложных систем. 2018. №3(23). С. 143-158.

10. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.:БХВ-Петербург, 2005. 400 с.

11. Системы менеджмента качества. Требования. ГОСТ ISO 9001-2011. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2012. 36 с.

УДК 528.2:629.78

Кожабек Ж.А., Молдамурат Х., Ергалиев Д.С., Сапабеков А.Е., Толеубай Н.

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Республика Казахстан

АРХИТЕКТУРА СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ GPS

В данной статье рассматривается история развития и современное состояние глобальной системы позиционирования GPS. Описывается принцип определения координат искомого объекта с помощью спутниковых сигналов, а также структура системы GPS.

Ключевые слова:

СПУТНИКОВАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА, GPS, ПРИЕМНИК, СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ, ОРБИТАЛЬНАЯ ГРУППА, СИГНАЛ, СИСТЕМА КООРДИНАТ

ВВЕДЕНИЕ

GPS – GlobalPositioningSystem в переводе с английского языка означает глобальная система позиционирования. Была создана Министерством обороны США в 60-е годы XX века. Навигационные системы с использованием спутников передают сигналы, свои координаты в космическом пространстве,на приемник с временной задержкой доли секунды.На основе этих данных, зная законы физики можно с помощью расчетов определить свое местоположение. Для определения координат объекта применяется трехмерная система координат WGS84.Она определяет координаты объекта относительно центра масс Земли с погрешностью менее 2 см.

Рассматриваемая система состоит из трех взаимосвязанных сегментов: космического, управляющего и пользовательского. Каждая из них имеет свои особенности. Повышенное внимание стоит уделить космическому сегменту, которая в настоящее время проходит модернизацию. Все 32 спутника орбитальной группы планируется заменить на спутники нового поколения, превосходящие по всем характеристикам старые аппараты. Производителем спутников нового поколения является американская военно-промышленная корпорация Lockheed Martin.

Рассматриваемая система является более точной в настоящее время по сравнению с аналогами и самой популярной в мире, на ее счету свыше 4-х миллиардов пользователей. По заявлению министерства обороны США обновленная орбитальная группа спутников полностью заработает в 2023 году.

ИСТОРИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ

Советский спутник ПС-1, который был запущен в космос в октябре 1957 года, заложил начало возникновению спутниковых систем. Тогда, в октябре 1957годасотрудники компании John Hopkins Балтиморского Университета (США),на основе анализа радиосигнала, получаемого от ПС-1 доказали, что определение орбиты спутников по их собственным сигналам вполне возможны.

Первой такой системой в мире считается Transit, ее также называли NAVSAT. Ее разработка началась в 1958 году в Лаборатории Прикладной Физики университета Джона Хопкинса при поддержке военно-морского флота США. В то время главным пользователем Transit был ВМФ США. С его помощью

американские военные определяли точное местоположение своих стратегических подводных лодок.

Transit состоял из шести простейших космических аппаратов, которые вращались вокруг Земли на высоте 1100 км и работали на частотах 400 и 150 МГц. Главными недостатками данной системы являлись не полное покрытие поверхности Земли и ограниченное время нахождения аппаратов в зоне видимости[1].

Для определения координат объекта применяли эффект Доплера. Суть данного эффекта заключается в следующем: частота принимаемого сигнала зависит от расстояния до поверхности Земли, она возрастает при приближении аппарата и уменьшается при его удалении. Это значит, что если точно знать координаты своего местоположения на Земле, то становится возможным определить координаты местоположения и скорость спутника, и наоборот, точно зная положение аппарата в комическом пространстве, возможно рассчитать собственную скорость движения и координаты своего местоположения.Аппараты двигались по известной траектории, вещали на известной частоте. До приемника доходил сигнал несколько другой частоты. По смещению частот сигналов от нескольких спутников высчитывалось местоположение. Спутники позволяли определять местоположение объекта в каждой точке земного шара каждые полтора часа с точностью до 200 метров. Transit просуществовал до 1996 года.

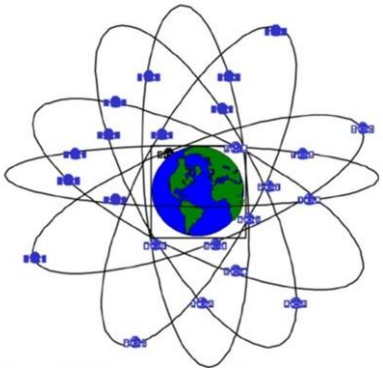


Рисунок 1 – Орбитальная группа GPS-спутников

Годом рождения глобальной системы позиционирования, более известной как GPS, можно считать 1973 год, когда министерство обороны США инициировало процесс унификации навигационных систем, так как разные ведомства работали над разными системами, которые были несовместимы друг с другом.

В самом начале она предназначалась только для военных. Но вскоре ситуация изменилась, с развитием микроэлектроники GPS-приемники стали доступнее. Система GPS стала более популярным, тогда число гражданских потребителей существенно превысило число военных.

Система гражданского назначения обеспечивала достаточно высокую точность определения координат, всего несколько метров для медленно движущихся и стационарных объектов. К концу 1975 года на круговых околоземных орбитах находились 6 навигационных космических аппаратов.

СТРУКТУРА СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ GPS

В настоящее время Министерство обороны США реализует проект по модернизации орбитальной группировки навигационных спутниковсистемы GPS. В декабре 2018 года частной космической компанией Илона Маска – Space X был произведен запуск ракеты-носителя Falcon 9 с первым спутником позиционирования третьего поколения в качестве полезной нагрузки. Этот аппарат был назван Vespucci, по имени флорентийского мореплавателя Америго Веспуччи, в честь которого назвали Американский континент[8].

Ракета-носитель Falcon 9 была запущена со стартовой площадки SLC - 40 в авиационной базе военно-воздушных сил США на мысе Канаверал в штате Флорида.

Орбитальная группанового поколения спутников системы позиционирования GPS будет состоять из тридцати двух аппаратов — они предназначены для замены аппаратов, которые сейчас обеспечивают GPS - сигналомвесь мир. Первые десять из них в версии Space Vehicle (Block IIIA) запустят до 2023 года включительно, а остальные 22 - в конфигурации Follow On (Block IIIF) - начнут запускать с 2025 до 2034 годы.

Рисунок 2 – Vespucci перед установкой под головной обтекатель

Новые спутники обеспечат невиданную ранее мощность передаваемого сигнала, точность навигации будет в 3 раза выше по сравнению с нынешней, а защищенность от шумоподавления увеличится в 8 раз.

Создателем новых спутников является американская фирма LockheedMartin. И по заявлению представителей изготовителя срок службы аппарата увеличен до 15 лет.

«Насколько точным будет позиционирование? Мы не можем раскрыть эту информацию, но разведите руки в стороны: наша точность будет в этих пределах», - отметили в Lockheed Martin в 2018 году.

Vespucci размещен на средней околоземной орбите (СОО) на высоте примерно 20000 км над уровнем моря, где кроме аппаратов GPS находятся также зонды Galileo (Евросоюз) и ГЛОНАСС (РФ).

Vespucci - первый GPS-транслятор нового гражданского L_1C-сигнала, с которым работают и другие системы вроде европейского "Галилео"[3].

Обновляемая группа спутников полнофункционально заработает не ранее чем в 2022 году: есть некоторые проблемы с параллельной программой модернизации наземных систем управления спутниками.

Структурно модернизируемая система будет состоять из трех частей:

Космический сегмент- состоит из тридцати двух спутников,двигающихся вокруг Земли по шести орбитам. На каждой из них находятся 4-6 навигационных спутников, которые двигаются со средней скоростью 14000 км/ч.

Управляющий сегмент представляет собой главную управляющую станцию, расположенную в Falcon Air - военная база в американском штате Колорадо, и пять беспилотных станции мониторинга (МС), расположенных в стратегически важных точках по всему миру. Также сюда входят и наземные антенны, и станции мониторинга. Местоположение пяти беспилотных станции мониторинга отмечены, на карте ниже, синими кружками [1].

Пользовательский сегмент представляет из себяприемники, находящиеся в ведении государственных институтов, и сотни миллионов приёмных устройств, владельцами которых являются обычные пользователи.

Все пользователи делятся на две основные группы: военные пользователи, которым можно использовать две частоты L_1 и L_2, а также гражданские пользователи, которые могут использовать только частоту L1. GPS является пассивной, имеется в виду, что передача сигнала происходит только одним способом, от спутника к приемнику [4].

Рисунок 3 – Карта управляющего сегмента спутниковой системы позиционирования GPS

GPS-СИГНАЛ

В любой точке планеты в зоне видимостиприемника находится как минимум четыре спутника. Каждый аппарат непрерывно передает сигналы на двух частотах L-диапазона, обозначаемых как L_1 и L_2 (буква L означает «link», «связь»). L-диапазон охватывает частоты от 1 до 2 ГГц.

Центры частот:

- L_1 = 1,57542 ГГц;
- L_1 = 1,22760 ГГц.

В системе позиционирования GPS используются три типа модуляции сигнала:

С/А-грубый код приема, Р-код - защищенный код и Y, который используется вместе с Р-кодом, и его называют - Р (Y).

Частота L_1 (длина волны L_1=19 см) формируется путем умножения частоты задающего генератора на 154 и модулируется С/А и Р-кодами, частота L_2 (длина волны L_2=24 см), получается формируется путем умножения частоты задающего генератора на 120 и модулируется Р-кодом. Кроме этого, обе эти частоты дополнительно модулируются навигационным сообщением. Наличие Р-кодов на двух частотах позволяет уверенно оценить ионосферную поправку и повысить точность.

Положение приемника фиксируется с помощью решения системы уравнений:

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2 = [c(\Delta t_{c1} - \Delta t_z)]^2$$
$$(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2 = [c(\Delta t_{c2} - \Delta t_z)]^2$$
$$(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2 = [c(\Delta t_{c3} - \Delta t_z)]^2$$
$$(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2 = [c(\Delta t_{c4} - \Delta t_z)]^2$$

В этом уравнении неизвестными являются три координаты (X, Y, Z) и одинаковая для всех спутников ошибка синхронизации Δtz.

ПРИМЕНЕНИЕ GPS-ТЕХНОЛОГИИ

В каждом магазине, специализирующемся на продаже электроники, можно купить технику с интегрированным в нее GPS-технологией. GPS-приемниками оснащены почти вся электроника, которым человек пользуется в повседневной жизни, от мобильных телефонов до транспортных средств. Современный высокотехнологичный мир невозможно представить без гаджетов. Буквально у каждого человека имеется мобильный телефон, смарт часы, фитнес браслеты. А автомобили оснащены трекэрами, которые отслеживают их передвижение.

Рисунок 4 – GPS-приемник компании MagellanNavigation

Человек может найти нужное ему место по электронной карте в своем телефоне с точность до нескольких метров. И все это благодаря GPS-технологиям.

Под сферу применения GPS-технологий подпадают:

- картография;
- транспорт и коммуникация;
- геодезия;
- авиация;
- морское дело;
- отдых и развлечения и многое другое.

И с каждым годом будет расширяться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Глобальная спутниковая система GPS второго поколения основана на принципах дальнометрии и предназначена для высокоточного определения трех координат места, составляющих вектора скорости и времени различных подвижных объектов.

Система разработана по заказу и находится под управлением МО (ВВС) США. США предоставляют систему в стандартном режиме для гражданского, коммерческого и научного использования без взимания за это специальной платы. Определено, что за использование системы гражданскими потребителями ответственность несет Министерство транспорта США.

Определение местоположения и навигация с использованием глобальной системы позиционирования (GPS) глубоко проникли в нашу повседневную жизнь. Навигационная спутниковая система GPS, являясь первой такого рода системой, до сих пор остается самой распространенной и востребованной. Главным образом это обусловлено высокой точностью определения координат. Ведь новые спутники укомплектованы самыми новейшими техническими средствами и электроникой.

ЛИТЕРАТУРА

1. https://ru.wikipedia.org/
2. https://www.gps.gov/
3. https://news.liga.net/
4. Принципы работы системы GPS и ее использование. loi.sscc.ru.
5. Козловский Е. Искусство позиционирования // Вокруг света. - М., 2006. - № 12 (2795). - С. 204—280.
6. https://www.spacex.com/
7. Beck T., Trautenberg H.L., Soualle F., Stopfkuchen L., Feibach D., Amarillo F., Fernandez A., Poirier P., Montoya L., Greda L., Konovaltsev A.,Hammesfahr J. В сборнике: Institute of Navigation - International Technical Meeting 2010, ITM 2010 Sandiego, CA, 2010. С. 1157-1171.
8. Верховых В.И., Кутовой Д.А., Федотов А.А., Цепилов Ю.В. Состояние и перспективы развития спутниковых радионавигационных систем. Ракетно-космическая техника. 2013. Т. 1. №1 (2). С. 11.
9. GPS receiver/antenna comes in a tiny package. EDN.2002. Т. 47. №14. С. 100.
10. Ергалиев Д.С., Шепель В.И., Тулегулов А.Д. Сравнительный анализ глобальных навигационных спутниковых систем. Надежность и качество-2012: Международный симпозиум.- Пенза, 2012., том 1. - С.469-471.
11. А.О.Асылбекова, А.Е.Ашуров, Ергалиев Д.С. Исследование точности определения орбиты геостациона-рного спутника Земли с двух пунктов наблюдения. Надежность и качество. Труды международного симпозиума. г.Пенза, РФ - 23 -31 мая 2016 г., №1, С. 129-131.

УДК: 381.3.06

Копнин Н.М., Муравьев К.А., Серова Е.М.

ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Москва, Россия

МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

В работе рассмотрены вопросы обеспечения максимальную продолжительность жизни беспроводных сенсорных сетей. Особое внимание уделено методу балансировки трафика для увеличения времени жизни беспроводных сенсорных сетей. В результате исследования удалось выявить недостатки стандартных методов маршрутизации в сетях, и предложены варианты решения этих проблем методами улучшения работы сенсорных сетей.

Ключевые слова:

БЕСПРОВОДНАЯ СЕНСОРНАЯ СЕТЬ, БСС, УЗЛЫ, БАЛАНСИРОВКА ТРАФИКА, ВРЕМЯ ЖИЗНИ, СКОРОСТЬ, ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ, МОТ, ТОПОЛОГИЯ СЕТИ

Введение

Беспроводная сенсорная сеть – распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. Типичная сенсорная сеть состоит из множества дешёвых, автономных, многофункциональных узлов (мотов), которые распределены в зоне мониторинга. В зависимости от режима работы время жизни узла может достигать нескольких лет [1-4].

Каждый узел сенсорной сети обычно состоит из портов ввода/вывода данных с различных датчиков контроля внешней среды (или сами датчики), микроконтроллер (для обработки и управления сигналами), радио-приемопередатчик, а также источник питания. Это позволяет устройству получать результаты измерений, проводить начальную обработку данных, и поддерживать связь с внешней информационной системой. Таким образом ключевыми особенностями сенсорных сетей:

способность ретрансляции сообщений от одного элемента к другому,

возможность наличия датчиков в каждом элементе,

длительный срок автономной работы (1 год и более) [1].

При использовании недорогих беспроводных датчиков контроля параметров [5 - 7] открываются новые возможности для применения систем телеметрии и контроля, такие как:

заблаговременное выявление возможных отказов исполнительных механизмов, по контролю параметров таких, как температура, давление, вибрации и т.д.,

контроль доступа к удалённым системам объекта мониторинга в режиме реального времени,

обеспечение охраны музейных ценностей,

обеспечение учёта экспонатов,

автоматическая ревизия экспонатов,

автоматизация инспекции и технического обслуживания промышленных активов.

Реальный пример использования WSN (wireless sensor networks) - беспроводная система мониторинга состояния строительных конструкций. Система обеспечивает сбор, регистрацию и отображение показаний от множества датчиков, установленных на различных элементах конструкций для контроля их напряженно-деформированного состояния и структурной целостности.

1. Анализ архитектур беспроводных сенсорных сетей

Беспроводные сенсорные сети WSN состоят из миниатюрных вычислительно-коммуникационных устройств — мотов (от англ. motes—пылинки), или сенсоров. Мот представляет собой плату размером обычно не более одного кубического дюйма. На плате размещаются процессор, память — флэш и оперативная, цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи, радиочастотный приемопередатчик, источник питания и датчики. Выбор применяемых датчиков зависит от функций, выполняемых беспроводными сенсорными сетями. Питание мота осуществляется от небольшого источника питания (батареи). Моты, как правило, используются только для передачи сенсорных.

В начале работы происходит идентификация всех мотов, а затем уже формируется схема маршрутизации. Вообще, все моты в стандарте ZigBee (спецификация сетевых протоколов верхнего уровня - уровня приложений APS (англ. applications upport sub layer) и сетевого уровня NWK) по уровню сложности разбиваются на три класса [3, 8].

Первый и высший из них - координатор - управляет работой сети, хранит данные о ее топологии и служит шлюзом для передачи данных, собираемых всей беспроводной сенсорной сетью, для дальнейшей обработки. ВБСС, как правило, используется один координатор.

Ко второму классу относятся моты маршрутизаторы. Они принимают и передают данные, а также могут определять направление передачи.

Третий класс - самый простой мот может лишь передавать данные ближайшему маршрутизатору.

В каждой беспроводной сенсорной сети может быть только одно устройство-координатор. Каждый координатор выбирает уникальный идентификатор подсети. Этот идентификатор обеспечивает связь между устройствами в сети с помощью коротких адресов и позволяет передавать данные между устройствами через независимые подсети [2].

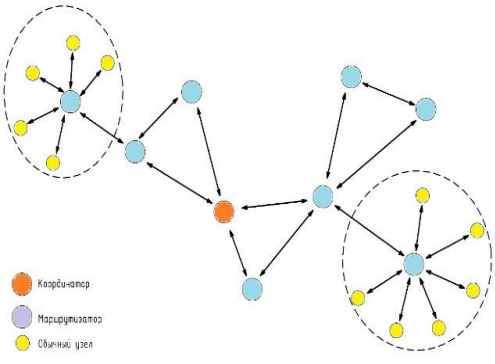


Рисунок 1 – Структура уровней сложности мотов [1]

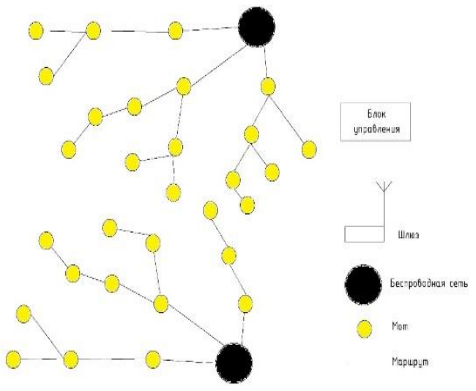


Рисунок 2 – Обобщенная архитектура беспроводной сенсорной сети

Можно выделить следующие топологии беспроводных сенсорных сетей:

точка-точка- связь между двумя узлами сети, имеет максимально низкое энергопотребление, обладает минимальной стоимостью,подходит для самых простых приложений;

звезда - связь узлов сети с одним «главным» узлом, позволяет использовать стратегию стандартного множественного доступа, в каждой сети с топологией звезда имеется один координатор сети;

одноранговая многоячейковая сеть - Нет выделенных маршрутизаторов и любой сетевой узел может выполнять функции маршрутизатора для других устройств в сети, однако в многоячейковой сети срок службы узлов уменьшается за счет увеличенной вычислительной нагрузки и увеличения частоты использования приёмопередатчика;

кластерное дерево - Обеспечивает масштабируемость сети и расширение зоны покрытия, не требуя дополнительных затрат на инфраструктуру, сеть типа кластерное дерево может включать в себя несколько подсетей с топологией звезда.

В зависимости от требований предметной области формирование топологии сенсорной сети может происходить в двух режимах: топология типа «звезда», либо топология типа «точка-точка».В случае топологии «звезда» предполагается, что сеть состоит из объектов двух типов: полнофункциональные объекты и объекты с уменьшенной функциональностью. Вся сеть разбивается на сегменты, где объекты первого типа выступают в роли координаторов сегментов сети. Объекты первого типа могут вести общение с объектами второго типа и между собой. Объекты второго типа могут вести общение только с объектами первого типа. Ввиду повышенных нагрузок полнофункциональные устройства могут быть стационарными и иметь питание от внешних источников. Такой способ организации сети может быть востребован для решении ограниченного спектра задач, например в промышленности [9].

2. Анализ понятия "ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ СЕТИ"

Концепция сенсорных сетей предполагает, что любой узел работает от автономного источника питания. Если таким источником является обычный аккумулятор с непополняемой в процессе работы энергией, то в определенный момент времени он разряжается и автономное устройство перестает работать. Временное падение качества обслуживания предполагает, что через некоторое время задачи вышедшего из строя узла будут переложены на другие устройства сети. При окончательном падении качества обслуживания сеть перестает выполнять одну или несколько функций. Если узел является ключевым звеном системы, например, выполняя задачи маршрутизации большого числа потоков, то его отказ и невозможность динамической замены означает отказ всей сети. Так как в общем случае все элементы БСС являются автономными, обязательно наступает момент, когда сеть более не может решать возложенные на нее задачи. Время от начала работы сети до данного момента называется временем жизни или временем автономной работы сети (Network Lifetime). Проблема заключается в том, что в каждом отдельном случае момент выхода сети из строя может определяться по-разному, в зависимости от требований к качеству обслуживания.

Сенсорные сети имеют две ключевые функции:1) самоорганизация и 2) самовосстановление.

самоорганизация представляет собой процесс самостоятельного образования, настройки и поддержания работы беспроводной сети с динамическим регулированием параметров и логики ее работы в зависимости от внешних факторов. Целью самоорганизации является создание автономной, автоматически настраиваемой сети, которая после развертывания может функционировать без вмешательства оператора.

самовосстановление тесно связано с самоорганизацией и предполагает, что при выходе из строя отдельных узлов сети через определенный интервал времени сеть перестраивается и снова начинает выполнять возложенные на нее функции [10].

3. Методы увеличения времени жизни БСС

Сенсорные сети главным образом предназначены для сбора данных. Это означает, что существует один или несколько выделенных узлов, к которым стекается информация со всей сети. Эти узлы, как правило, имеют постоянный источник питания, интерфейсы сопряжения с локальными, глобальными сетями или с более мощными вычислительными устройствами. Таким образом, в сенсорной сети есть преимущественное направление движение полезного трафика, приводящее к тому, что через узлы маршрутизации, находящиеся рядом со стоком(-ми), проходит на порядок больший объем трафика. Чем больше данных проходит через узел беспроводной сети, тем больше его потребляемая мощность. Как следствие, в сети появляется проблема неравномерного потребления энергии узлами сети, заключающаяся в том, что сеть становится неработоспособной в тот момент, когда энергия заканчивается у нескольких узлов, в то время как большинство остальных имеют значительный запас энергии, и, как следствие, уменьшается время автономной работы сенсорной сети. Поэтому были придуманы методы увеличения времени жизни БСС, которые помогли решить эти проблемы и улучшить качество работы БСС.

Для выравнивания потребляемой энергии всех узлов сети используют различные методы энергетической балансировки (energybalancing) и управления трафиком [8-15]. Отдельные методы основаны на индивидуальном подборе ёмкости батареи в зависимости от положения устройств в структуре сети и выполняемых ими функций. В этом случае ключевые ретранслирующие устройства могут снабжаться большими по ёмкости аккумуляторами. Другие управляют плотностью размещения узлов сети в зависимости от предполагаемой интенсивности трафика в конкретной зоне. Данное решение направлено на обеспечение избыточности в структуре сети и дублирование функций отдельных узлов.

К наиболее простым методам увеличения времени жизни БСС относятся улучшение аппаратных характеристик устройств: уменьшение энергопотребления отдельных компонентов, оптимизация их размещения на кристалле или печатной плате по минимуму потерь или увеличение емкости батарей. Исследование данных возможностей относится к смежным областям (электроника, радиофизика, химия, схемотехника и др.). Следует отметить, что у способа есть как физические (передача данных по радиоканалу на заданное расстояние, равно как и обработка данных микропроцессором, требуют определенных энергетических затрат), так и стоимостные ограничения (использование более энергоэффективных компонентов приводит к удорожанию систем). Кроме того, использование больших по емкости батарей неизбежно приводит к увеличению размера устройств, в то время как сама концепция сенсорных сетей предполагает их миниатюризацию.

С точки зрения программных алгоритмов обработки данных в узлах системы возможны следующие 2 варианта:

сжатие данных – метод имеющий свои пределы, кроме того в сенсорных сетях сами данные, как правило малы по объёму, поэтому их сжатие не даёт большого эффекта.

накопление данных и их последующая передача большими блоками - метод основа на том, что в современных беспроводных стандартах любая передача цифрового пакета связана с дополнительными накладными расходами

Поэтому выгоднее передавать данные большими блоками в одном пакете. Известен ряд готовых решений для подключения сенсорных узлов к миниатюрным солнечным батареям, преобразователям вибрационной энергии и термогенераторам на основе элемента Пельтье. Однако на сегодняшний день ни одно из решений по сбору и преобразованию альтернативной энергии еще не нашло массового применения в реальных сетях сбора данных, состоящих

из сотен узлов, прежде всего, из-за высокой стоимости, включающей в себя затраты на регулярное обслуживание. Но в перспективе данный подход может стать одним из ведущих и в конечном счете решить проблему ограниченного времени жизни БСС.

К программным методам относят использование протоколов маршрутизации, основанных на метрике остаточной энергии узлов или виртуальных координатах.

Известно, что в протоколах маршрутизации традиционных сетей используются метрики, направленные на увеличение пропускной способности сети или уменьшение задержек передаваемых данных [15 - 17]. Подобными метриками могут служить количество промежуточных узлов (хопов) до адресата, пропускная способность канала связи, уровень загрузки линии. В сенсорных сетях часто применяется метрика остаточной энергии узлов на пути до стока. В этом случае из множества альтернативных маршрутов выбирается тот, на котором узлы имеют большую остаточную энергию [10, 11].

Заключение

В рамках данной работы была рассмотрена архитектура беспроводных сенсорных сетей. Перечислены различные виды топологий сенсорных сетей и приведена их краткая характеристика. Проанализировано понятие времени жизни сенсорных сетей и даны рекомендации по применению методов увеличения времени жизни БСС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максим Сергиевский Беспроводные сенсорные сети. [Электронный ресурс]. URL: https://compress.ru/article.aspx?id=17950 (дата обращения: 04.10.2019).

2. КРОССавтоматика, Беспроводные сенсорные сети [Электронный ресурс]. URL: https://crossgroup.su/solutions/data_transfer/sensor_nets.html (дата обращения: 04.10.2019).

3. Муравьев К.А., Цивинская Т.А., Манушян Д.Г. Анализ протоколов передачи данных самоорганизующихся сенсорных сетей // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2019. Т. 2. С. 142-145.

4. Денисенко Н.А., Лавров А.В., Муравьев К.А., Чебова А.И. Исследования сенсорной сети датчиков давления // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). С. 51-55.

5. Санталов Г.Д., Муравьев К.А., Леонидов В.В. Методика проектирования электронных устройств в концепции "интернета вещей" // Проектирование и технология электронных средств. 2019. № 1. С. 10-22.

6. Журавлева Л.В., Грюмов С.А., Пигина Д.В. Удаленное управление "умной" электрической розеткой по сети ethernet // Технологии инженерных и информационных систем. 2019. № 2. С. 3-12.

7. Власов Д.С., Коновалов Д.С., Муравьев К.А. Исследование качественных показателей беспроводных AD-HOC сетей // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2019. Т. 1. С. 155-158.

8. Зимин Д.В., Муравьёв К.А. Анализ проблем энергоэффективности беспроводных сетей передачи данных на базе стека протоколов ZIGBEE // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 1. С. 195-197.

9. Левжинский А. С. Моделирование и визуализация беспроводных сенсорных сетей [Электронный ресурс]. URL: http://masters.donntu.org/2011/fknt/levzhinsky/diss/index.htm (дата обращения: 06.10.2019).

10. Зеленин А. Н., Власова В. А. Беспроводные сенсорные сети как часть инфокоммуникационной структуры [Электронный ресурс]. URL: https://docplayer.ru/53368014-Ris-1-arhitektura-besprovodnoy-sensornoy-seti.html(дата обращения: 08.10.2019).

11. Ефремов В. В. Моделирование времени жизни динамически реконфигурируемых сенсорных сетей с мобильным стоком [Электронный ресурс]. URL: http://www.dslib.net/mat-modelirovanie/modelirovanie-vremeni-zhizni-dinamicheski-rekonfiguriruemyh-sensornyh-setej-s.html (дата обращения: 10.10.2019)

12. Власов А.И., Иванов В.В., Косолапов И.А. Методы упреждающего прогнозирования состояния широкополосной сети связи // Программные продукты и системы. 2011. № 1. С. 3-6.

13. Муравьев К.А., Терехов В.В. Методы управления сетевым трафиком гетерогенных распределенных телекоммуникационных систем // Проектирование и технология электронных средств. 2017. № 2. С. 15-21.

14. Муравьев К.А., Терехов В.В. Программно-аппаратный комплекс мониторинга распределенных телекоммуникационных систем // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т. 1. С. 324-329.

15. Муравьев К.А., Хуббатулин М.Э. Методика настройки VPN на роутерах MIKROTIK // Технологии инженерных и информационных систем. 2019. № 2. С. 22-33.

16. Andreev K.A., Vlasov A.I., Shakhnov V.A. Silicon pressure transmitters with overload protection // Automation and Remote Control. 2016. Т. 77. № 7. С. 1281-1285.

17. Shakhnov V.A., Salmina M.A., Vlasov A.I., Yudin A.V., Usov K.A. Design methods of teaching the development of internet of things components with considering predictive maintenance on the basis of mechatronic devices // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Т. 12. № 20. С. 9390-9396.

УДК 621.391+004.45

Будылдина Н.В., Юрченко Е.В.

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Екатеринбург, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ ПАКЕТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ НЕОДНОРОДНОМ ТРАФИКЕ

Интернет вещей (IoT), с точки зрения множества подключенных устройств, имеет крайне неоднородный характер в беспроводной сети. Неоднородность параметров доступа к среде, мощности передачи и уровней активности между сосуществующими сетями приводит к помехам. Распределение стохастического трафика, сформированное в соответствии с правилами CSMA/CA, вмешивающиеся сети и замирания канала делают сложным моделирование и анализ производительности сети с помехами. Чтобы изучить временное взаимодействие между распределениями трафика двух сосуществующих сетей, рассмотрим теоретическую модель обновления пакетов для коллизий и общую функцию распределения времени столкновения системы с помехами. Функция распределения времени столкновения справедлива для любых распределений занятости и простоя сосуществующего трафика.

Ключевые слова:

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ, НЕОДНОРОДНЫЙ ТРАФИК, КОЛЛИЗИИ

Введение

В офисных, домашних и промышленных условиях становится очевидным одновременное присутствие гетерогенных беспроводных технологий [1] [2]. Сосуществование технологий управления влияет на их производительность в трех областях: частота, время и пространство. На определенном частотном канале помехи во временной области определяются параметрами трафика, тогда как пространственные помехи зависят от мощности передачи и местоположения источника помех, а также от замираний при множественном распространении.

Начиная с временного перекрытия между двумя сосуществующими сетями, время коллизии мешающих пакетов вместе с соотношением сигнал-шум определяет возможную частоту ошибок пакетов. Время столкновения определяется параметрами трафика в сосуществующих сетях: распределением длины пакета и времени простоя. В реальной среде при моделировании коллизий с мульти-терминальной системой, такой как WLAN, необходимо учитывать сложный трафик, наблюдаемый по линии с помехами. Во многих исследованиях измерений [3] [4] показано, что трафик WLAN, сформированный по протоколу CSMA/CA, следует статистике простоя с длинными очередями, гиперэкспоненциальном или гиперэрланговом распределением.

Рассмотрим теоретическое распределение времени столкновения, которое справедливо для любого распределения времени простоя с преобразованием Лапласа. Таким образом, распределение времени столкновения может быть применено для распределений очередей, таких как гиперэкспоненциальное и гиперэрланговское распределение. При использовании чередующегося представления процесса обновления трафика WLAN из [5] время коллизии мешающего пакета зависит от начального наблюдаемого состояния трафика WLAN (т. е. бездействия или занятости), а также от остаточного ресурса этого состояния. Тогда распределение времени столкновения в каждом состоянии является распределением случайной суммы времени занятости, встречающихся в длине пакета с помехами. В то время как случайная сумма взвешивается по распределению количества обновлений (простоев), наблюдаемых во время пакета с помехами. В частности, для экспоненциально распределенной длины пакета с помехами, рассмотрены распределения числа обновлений для каждого начального наблюдаемого состояния. Они являются общими и могут оцениваться для любого распределения простоя.

Беспроводная сенсорная система с низким энергопотреблением, где каждая линия сенсора между парой передатчик и приемник подвергается воздействию помех от сосуществующей системы WLAN, как показано на рисунке 1. В системе WLAN в любой момент времени может быть случайное число связанных станций при доступе к среде CSMA/CA (в идеале), однако только одна станция находится в состоянии передачи (приема) к (от) точке доступа (ТД). Процесс получения составного трафика, сформированного по правилам CSMA/CA и/или без каких-либо возмущений в процессе прибытия из-за столкновений или помех, наблюдаемых линией датчика, обозначен как $\beta\,(t)$ на рисунке 1.

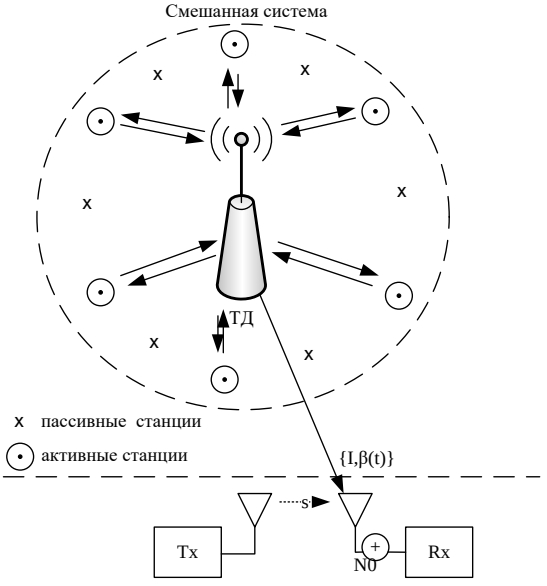


Рисунок 1 – Системная модель гетерогенного сосуществования

Рассмотрим процесс обновления, представляющий прибытие пакетов WLAN. В любой момент времени процесс находится в одном из двух состояний: занято (включено) или бездействует (выключено) (рисунок 2).

Обозначим состояние процесса в момент времени $t \geq 0$ через $\chi(t)$, пусть $\chi(t) = 1$ – включен, и $\chi(t) = 0$ – выключен. Временное состояние процесса описывается стохастическим процессом из двух состояний $\{\chi(t), t \geq 0\}$. Общее время, в течение которого процесс проводит в состоянии $\chi(t) = 1$ в течение интервала времени (t_0, t), является случайным процессом, обозначаемым как $\beta(t)$, и представляет собой потенциальное столкновение времени.

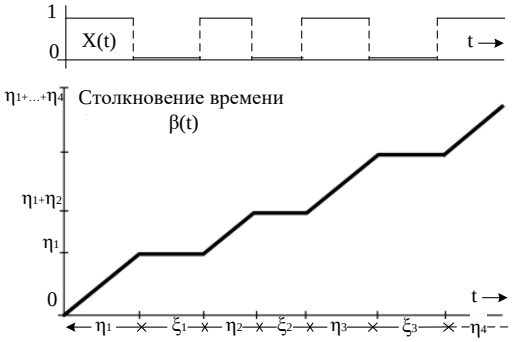


Рисунок 2 – Примеры функций трафика WLAN и процессов коллизий

Математически $\beta(t)$ в терминах $\chi(t)$ определяется как:

$$\beta\,(t) = \int_{t_0}^{t} \chi\,(x)\,dx$$

Дополнением $\beta(t)$ является общее время выключения, то есть время, которое процесс проводит в состоянии $\chi(t) = 0$ в течение (t_0, t), и следует $\alpha(t) = t - \beta(t)$.

Пусть переменные $\eta_i(\xi_i)$ обозначают время, проведенное в состоянии «включено» (выключено) во время i-го пребывания в этом состоянии. Предположим, что все $\eta_i(\xi_i)$ независимы и одинаково распределены как $\eta(\xi)$ согласно $H(x) = Pr\{\eta \leq x\}\,(G(x) = Pr\{\xi \leq x\})$, а также η и ξ непрерывные случайные величины со средним $\bar{\eta}$ и $\bar{\xi}$. Распределение суммы $\eta_1 + \eta_2 + \cdots + \eta_n$ является кратной сверткой $H(x)$, т.е.:

$$H_n(x) = Pr\left\{\sum_{i=1}^{n} \eta_i \leq x\right\}$$

где $H_0(x) = 1$. Аналогичное определение верно для $G_n(x)$, являющегося кратной сверткой $G(x)$. Символическое представление функций $\chi(t)$ и $\beta(t)$ показано на рисунке 2.

Предполагая, что процесс переходит в состояние включения в момент времени t_0, накопленная функция распределения времени включения $\beta(t)$.

$$Pr\,\{\beta\,(t) \leq x\} = \sum_{n=0}^{\infty} H_n\,(x)\,Pr\{N\,(t-x) = n\} \quad (1)$$

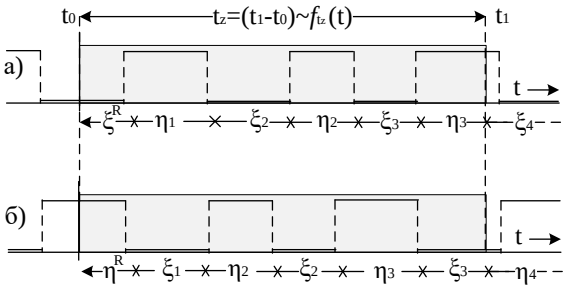


Рисунок 3 – Состояние чередующегося процесса обновления в момент наблюдения:
(а) нет пакета WLAN в момент наблюдения t_0, (б) происходит непрерывная передача пакетов WLAN в момент времени t_0

где $Pr\{N(t-x) = n\}$ – это функция вероятности массы количества обновлений (или простоев) за интервал времени $(t_0, t-x)$ с x – временем столкновения. Из [6], функция вероятности массы относится к $G_n(x)$ как:

$$Pr\{N(t-x)=n\} = G_n(t-x) - G_{n+1}(t-x) \quad (2)$$

Однако с точки зрения системы с помехами процесс $\chi(t)$ может находиться в произвольном состоянии в момент времени t_0 (рисунок 3). В результате, в момент t_0 $\chi(t)$ может находиться в любом состоянии, как включенном, так и выключенном, как показано на рисунке 3 (а) и рисунке 3 (б). Определим η^R и ξ^R – остаточное время ξ и η с функцией распределения $H^R = Pr\{\eta^R \le x\}$ и $G^R = Pr\{\xi^R \le x\}$ соответственно. Тогда распределение суммы $\eta^R + \eta_2 + \cdots + \eta_n$ равно:

$$H_n^R(x) = H^R(x) * H_n(x) = Pr\{\eta^R + \sum_{i=2}^{n}\eta i \le x\} \quad (3)$$

с $H_0^R(x) = 1$ и $H_1^R(x) = H^R(x)$. Аналогичное определение верно для $G_n^R(x)$, являющегося сверткой $G_n(x)$ с $G_R(x)$.

Теперь рассмотрим длину пакета t_z системы с помехами как случайную переменную, независимую от случайных величин η и ξ с функцией плотности вероятности $f_{t_z}(t)$. Если $\chi(t_0) = 0$, накопленная функция распределения времени срабатывания (то есть распределение времени столкновения сенсорной линии), $\omega_0(x)$, может быть определено из (1) как:

$$\omega_0(x) = \sum_{n=0}^{\infty} H_n(x)\int_0^{\infty} \Pr\{N^e(t-x)=n\} f_{t_z}(t)dt = \sum_{n=0}^{\infty} Hn(x)\, Pr\{N_{t_z}^e(x) = n\} \quad (4)$$

где из (3) и (2) $Pr\{N^e(t-x)=n\} = G_n^R(t-x) - G_{n+1}^R(t-x)$ – это функция вероятности массы числа обновлений в процессе восстановления равновесия в течение фиксированного времени и $Pr\{N_{t_z}^e(x)=n\}$ является той же мерой в случайный момент времени.

С другой стороны, если $\chi(t_0) = 1$, распределение времени столкновения $\omega_1(x)$ из (1):

$$\omega_1(x) = \sum_{n=0}^{\infty} H_n^R(x)\int_0^{\infty} Pr\{N^o(t-x)=n\} f t_z(t)dt = \sum_{n=0}^{\infty} H_n^R(x)\, Pr\{N_{t_z}^o(x)=n\} \quad (5)$$

где $Pr\{N^o(t-x) = n\} = G_n(t-x) - G_n + 1(t-x)$ соответствует функция вероятности массы числа продлений в обычном процессе продления за фиксированное время и $Pr\{N_{t_z}^o(x) = n\}$ обозначает функция вероятности массы в случайное время.

Если в произвольный момент времени $t_0 > 0$ система находится во включенном состоянии с вероятностью $Pr\{\chi(t_0) = 1\} = \frac{\bar{\eta}}{\bar{\eta}+\bar{\xi}} \triangleq \alpha$ и в выключенном состоянии с вероятностью $1-\alpha$, Совместная функция распределения времени столкновения:

$$\Omega(x) \triangleq \alpha\omega_1(x) + (1-\alpha)\omega_0(x). \quad (6)$$

Рассмотрим для случайной длины пакета t_z распределение по времени, $H_n(x)$ и $H_n^R(x)$, и функции вероятности массы числа обновлений, $Pr\{N_{t_z}^e(x)=n\}$ и $Pr\{N_{t_z}^o(x)=n\}$, предполагая различные распределения времени включения и выключения системы WLAN.

1) Помехи в распределении времени. Время передачи пакета, которое зависит от длины пакета и скорости передачи битов, соответствует времени включения чередующегося процесса обновления. Рассмотрим постоянную и экспоненциально распределенную по времени без потери сединения.

- Постоянная длина пакета. Предполагая постоянную длину пакета WLAN (т. е. $\bar{\eta} = t_w$), распределение по времени определяется как [5].

$$H_n(x) = \begin{cases} 0, x < nt_w \\ 1, x \ge nt_w \end{cases} \quad (7)$$

Поскольку остаточное время η^R равномерно распределено в интервале $[0, t_w]$, имеем [5]:

$$H_n^R(x) = \begin{cases} 0, x < (n-1)t_w \\ \frac{x-(n-1)T}{T}, (n-1)T \le x < nt_w \\ 1, x \ge nt_w \end{cases} \quad (8)$$

- Случайная длина пакета: с другой стороны, если t_w следует экспоненциальному распределению с параметром μ и средним значением $\bar{\eta} = 1/\mu, H_n(x) = H_n^R(x)$ является распределением Эрланга:

$$H_n(x) = H_n^R(x) = 1 - \sum_{k=0}^{n-1}\frac{1}{k!}(\mu x)^k\, exp(-\mu x) \quad (9)$$

2) Функция вероятности массы числа продлений. Пусть $P(t,z)$ – функция, генерирующая вероятность для N_t, число продлений за фиксированный интервал в $(0,t)$, определяемое как:

$$P(t,z) = E[z^{N_t}] = \sum_{n=0}^{\infty} Pr\{N_t = n\} z^n \quad (10)$$

Тогда $P(z)$, функция вероятности массы для N_{t_z}, т.е. число продлений в случайном интервале в $(0,t_z)$ с функцией плотности вероятности $f_{t_z}(t)$, равно:

$$P(z) = \int_0^{\infty} P(t,z) f_{t_z}(t)dt \quad (11)$$

функция вероятности массы N_{t_z} из (11) можно определить как:

$$Pr\{N_{t_z}=n\} = \frac{1}{n!}\frac{d^n}{dz^n} P(z)\Big|_{z=0}, n = 0,1,2,\ldots \quad (12)$$

Установив основные соотношения в (10) – (12), $Pr\{N_{t_z}^e(x)=n\}$ и $Pr\{N_{t_z}^o(x)=n\}$ нуждаются в (4) и (5). Генерирующая вероятность числа продлений за фиксированный интервал принимает общий вид [6]:

$$P(t-x,z) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} z^{n-1}(z-1)\{G_n(t-x)\}^n \quad (13)$$

Теперь, если преобразование Лапласа $g_n(t)$ есть $g_n^*(s)$, то преобразование $G_n(t-x)$ равно $g_n^*(s)\, e^{-sx}/s$. Функция $g_n^*(s)$ для обычного и равновесного процесса восстановления равна $\{g^*(s)\}^n/s$ и $\{1-g^*(s)\}\{g^*(s)\}^{n-1}/(\bar{\xi}s)$ соответственно. Следовательно, преобразование Лапласа (13) для процесса восстановления равновесия имеет вид:

$$P_e^*(s,z) = \frac{1}{s} + \frac{(z-1)\{1-g^*(s)\}}{\bar{\xi}s^2\{1-zg^*(s)\}} e^{-sx} \quad (14)$$

в то время как для обычного процесса обновления:

$$P_o^*(s,z) = \frac{1-g^*(s)}{s\{1-zg^*(s)\}} e^{-sx} \quad (15)$$

Предполагая, что t_z экспоненциально распределено с параметром λ_z из [6] (14) и (15) могут быть инвертированы с:

$$P_{\{e,o\}}(z) = \lambda_z P_{\{e,o\}}^*(s,z)\Big|_{s=\lambda_z} \quad (16)$$

Теперь, подставив (14) и (15) в (16), можно найти функция вероятности массы числа желаемых обновлений в (4) и (5) с (12). Функция вероятности массы числа обновлений в (4)

$$Pr\{N_{t_z}^e(x)=n\} = \begin{cases} 1 - \left[\frac{\{1-g^*(s)\}e^{-sx}}{s\bar{\xi}}\right]_{s=\lambda_z}, n = 0 \\ \left[\frac{e^{-sx}}{s\bar{\xi}}\{g^*(s)\}^{n+1} - 2\{g^*(s)\}^n + \{g^*(s)\}^{n-1}\right]_{s=\lambda_z}, n \ge 1 \end{cases} \quad (17)$$

в то время как функция вероятности массы в (5)

$$\Pr\{N_{t_z}^o(x)=n\} = \begin{cases} [1-e^{-sx}g^*(s)]_{s=\lambda_z}, n = 0 \\ [e^{-sx}\{g^*(s)\}^n - \{g^*(s)\}^{n+1}]_{s=\lambda_z}, n \ge 1 \end{cases} \quad (18)$$

Для любого простоя распределения трафика WLAN с известным преобразованием Лапласа можно найти функция вероятности массы числа обновлений, наблюдаемых в течение длительности пакета по сенсорной линии связи из (17) и (18). Рассмотрим экспоненциальное и гиперэкспоненциальное распределения времени простоя (без потери соединения) в качестве примера.

1) Экспоненциальные простои: преобразование Лапласа экспоненциального распределения с параметром ρ имеет вид $g^*(s) := \frac{\rho}{s+\rho}$, и распределение обновлений:

$$Pr\{N_{t_z}^e(x)=n\} = Pr\{N_{t_z}^o(x)=n\} = \begin{cases} 1 - \frac{\rho e^{-\lambda_z x}}{\lambda_z+\rho}, n = 0 \\ e^{-\lambda_z x}\left(\frac{\rho}{\lambda_z+\rho}\right)^{n-1}\left(\frac{\lambda_z}{\lambda_z+\rho}\right), n \ge 1 \end{cases} \quad (19)$$

2) Гиперэкспоненциальный простой: гиперэкспоненциальное распределение представляет собой смесь k экспоненциальных случайных величин, т.е.

$$g(x) = \sum_{i=1}^{k} p_i \rho_i e^{-\rho_i x} \quad (20)$$

где $\sum_{i=1}^{k} p_i = 1$ и $E[X] = \sum_{i=1}^{k} p_i/\rho_i$. Преобразование Лапласа гиперэкспоненциального функцией плотности вероятности i:

$$g^*(s) = \sum_{i=1}^{M} p_i \frac{p_i}{s+p_i} \quad (21)$$

3 Числовая проверка. Предположим, что среднее время передачи пакета с помехами составляет $\bar{t_z} = 1/\lambda_z = 1,984$ мс, что соответствует размеру пакета

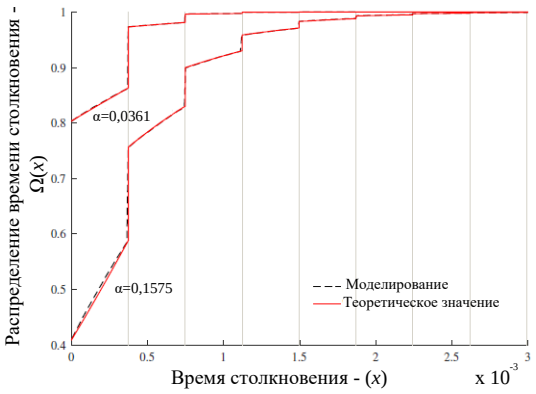


Рисунок 4 – Распределение времени столкновения при экспоненциальном времени простоя канала

60 байтов при 256 кбит / с, тогда как время занятости WLAN является постоянным с t_w = 374 мкс, что эквивалентно номинальному размеру пакета 500 байтов при 12 Мбит/с. С тем условием, что время простоя распределено экспоненциально. Для проверки численные результаты из (6) сравниваются с результатами и показаны на рисунке 4 для α = 0,0361 и α = 0,1575.

Численные результаты находятся в согласии с моделированием как для низких, так и для высоких коэффициентов активности канала.

Заключение

Рассмотрена общая функция распределения времени столкновения для интерференционной линии связи, основанная на теоретическом моделировании сосуществующего трафика. Для экспоненциально распределенных длин пакетов с помехами функция распределения времени столкновения является случайной суммой распределений своевременного и количества обновлений сосуществующего трафика. Распределение числа продлений, зависящее от статистики простоя, получено теоретически. Распределение требует только преобразования Лапласа статистики простоя, поэтому может быть оценено для очередей гиперэкспоненциального или гиперэрланговского распределения. Теоретическое распределение времени столкновения отлично согласуется с результатами моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Ericsson, “Ericsson mobility report: On the pulse of the networked society,” Ericsson, Sweden, Tech. Rep. EAB-14, vol. 61078, 2015. [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.ericsson.com/assets/local/news/2015/6/ericsson-mobility-report-june-2015.pdf

2. Муравьев К.А., Цивинская Т.А., Манушян Д.Г. «Анализ протоколов передачи данных самоорганизующихся сенсорных сетей»// Труды международного симпозиума надежность и качество: Изд-во Пензенский государственный университет, 2019. Т 2. С. 142-145.

3. Л. Стабеллини, «Количественная оценка и моделирование возможностей спектра в реальной беспроводной среде»*// 2010 IEEE, Конференция по беспроводной связи и сетевым технологиям* , Сидней, Новый Южный Уэльс, 2010, стр. 1-6.

4. С. Гейрхофер, Л. Тонг и Б. М. Сэдлер, "Модель на основе измерений для доступа к динамическому спектру в каналах WLAN"*// MILCOM 2006 - 2006 Конференция IEEE по военной связи* , Вашингтон, округ Колумбия, 2006, с. 1-7.

5. А. Махмуд, Х. Йигитлер и Р. Янтти, «Стохастическое моделирование коллизий пакетов в сосуществующих беспроводных сетях для оценки качества линии»*// Международная конференция IEEE по коммуникациям (ICC)* 2013, Будапешт, 2013, с. 1915-1920.

6. Д. Кокс, Теория обновления. Метуэн, 1970. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://en.bookfi.net/book/726252

УДК 621.391+004.71

Будылдина Н.В., Хурматов Р.И., Соловаров И.В.

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Екатеринбург, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ПАКЕТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ТРАФИКА В СЕТИ MPLS-TP

Транспортный профиль многопротокольной коммутации по меткам (Multiprotocol Label Switching – Transport Profile MPLS-TP) – это сетевая технология транспортного уровня с коммутацией пакетов, которая использует псевдопроводы (Pseudo-wire PW) и пути коммутации по меткам (Label Switch Path LSP). MPLS-TP – это профиль MPLS, который поддерживает развертывание в транспортных сетях и позволяет работать в соответствии с другими транспортными технологиями [1].

В этой работе изучаются и оптимизируются характеристики передачи интернет-трафика в сети MPLS-TP. Работа включает в себя изучение влияния полезной нагрузки на трафик эмуляции канала с временным разделением каналов (Time Division Multiplexing TDM) в сети и предложение новой схемы корректировки длины пакета. В результате работы повышается производительность транспортной сети за счет оптимизации: размера полезной нагрузки TDM.

Ключевые слова:

ИНТЕРНЕТ-ТРАФИК; ТРАНСПОРТНЫЙ ПРОФИЛЬ MPLS (MPLS-TP); КАЧЕСТВО ВОСПРИЯТИЯ (QOE)

Введение

Поскольку в настоящее время большая часть трафика клиента основана на коммутации пакетов, инфраструктура, обеспечивающая передачу на транспортном уровне, называется пакетной транспортной сетью (Packet Transport Network PTN). Она обеспечивает сквозное тестирование с помощью средств Эксплуатации, Администрирования и Обслуживания (Operation, Administration, and Maintenance OAM) и позволяет задавать необходимые уровни качества обслуживания (Quality of Services QoS) для городских или опорных сетей. В настоящее время MPLS-TP хорошо документирован. Для изучения характеристик передачи PTN в работе выбрана технология MPLS-TP. В этой статье описаны результаты анализа и улучшения производительности передачи трафика сетей MPLS-TP, с помощью оптимизации размера полезной нагрузки трафика мультиплексирования с временным разделением (Time Division Multiplexing TDM). Работа основывается на наблюдении, что многоуровневый трафик сосуществует в сети PTN, и состоит из самоподобного трафика на основе коммутации пакетов и потока битов TDM с постоянной скоростью коммутации каналов. Многоуровневый трафик также имеет различные требования QoE. Таким образом, самоподобие трафика и особенности QoE учитываются при оптимизации.

Имитационная модель и уровни трафика

Для изучения и улучшения характеристик передачи интернет-трафика в сети MPLS-TP была создана имитационная модель сети MPLS-TP. На рисунке 1 показан испытательный стенд для моделирования MPLS-TP, построенный с использованием пакета программ для имитационного моделирования OPNET MODELER [5]. Базовая сеть поддерживает 10 гигабитных сервисов Ethernet. В работе смоделированы функции плоскости управления, плоскости данных и плоскости контроля.

Для оценки производительности различных сервисов на этой платформе было создано и сосуществовало шесть классов трафика, как показано в таблице 1. В этой таблице также показаны различные требования QoE для каждого класса трафика.

Трафик OAM генерировался в пограничных маршрутизаторах с наивысшим приоритетом пересылки. Четыре других типа источников с более низким приоритетом трафика были использованы для генерации пяти классов трафика.

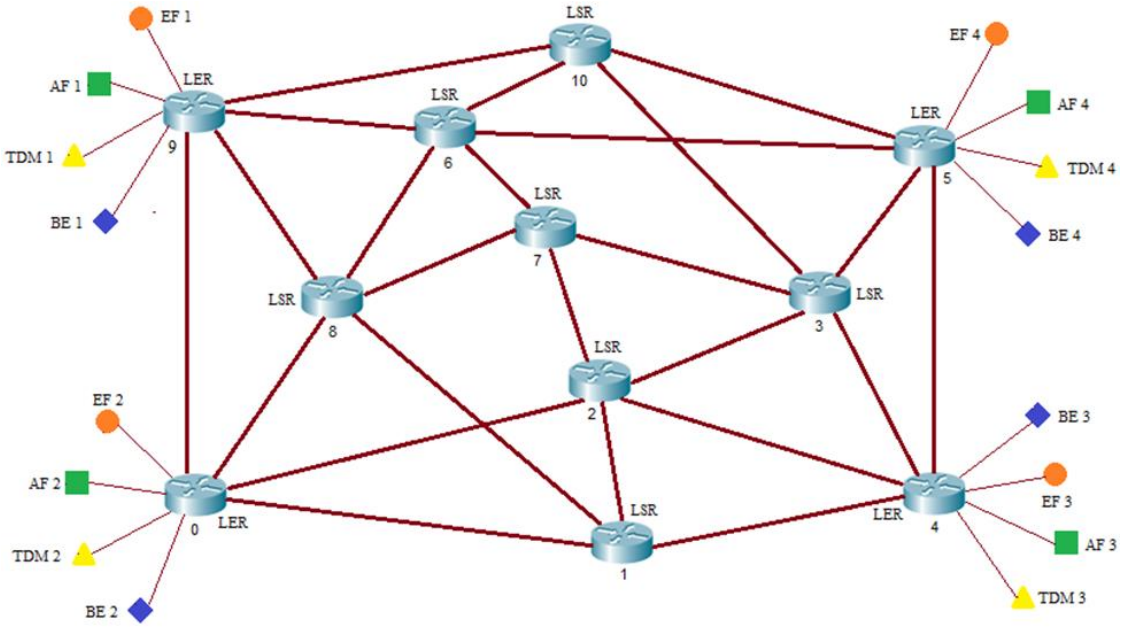


Рисунок 1 – Имитационная модель сети MPLS-TP

Требования QoE к траффику Таблица 1

Кл.	Обознач	Тип траф.	Требования QoE	Приложения	Распределение длины пакета	Коэф. проп. способ.
I	–	OAM	Фиксированная пропускная способность Чувствительность к потере данных	Мониторинг сети	Постоянное значение	Менее 1%
II		TDM	Фиксированная пропускная способность Чувствительность к задержке/дрожанию	Непрерывный трафик	Постоянное значение	3%
III		EF	Высокая пропускная способность Чувствительность к потере данных	HD VOD, HDTV	Парето, логонормальное, Вейбула	15%
IV		EF	Низкая пропускная способность Чувствительность к задержке/дрожанию	VoIP, Видеоконференция	Экспоненциальный рост, постоянное значение	10%
V		AF	Низкая пропускная способность Чувствительность к потере данных	SDTV, VoD, мультимедийное обучение	Парето, логонормальное, Вейбула	30%
VI		BE	Условная пропускная способность Чувствительность к потере данных	мультимедийное сообщение, удаленное хранилище, HTTP	Парето, постоянное значение	40-45%

Влияние размера полезной нагрузки TDM

В этой работе тестировались поведение задержки трафика EF и трафика TDM с различными размерами полезной нагрузки TDM. В данной работе сначала строилась модель задержки TDM-трафика, а затем предлагалась идея корректировки размера полезной нагрузки TDM. В итоге, приводится результат, полученный при моделировании сети MPLS-TP.

Поскольку битовые потоки TDM сегментированы и инкапсулированы в пакеты с постоянной скоростью, возможно использование характеристики задержки трафика с коммутацией пакетов для моделирования задержки TDM. Задержка трафика TDM определяется задержкой инкапсуляции/декапсуляции, задержкой передачи и задержкой в очереди [6]. Первая задержка в основном определяется рабочими возможностями граничных маршрутизаторов. Вторая задержка определяется расстоянием передачи и не зависит от режимов передачи. Что касается задержки в очереди, то она связана с политиками планирования очереди и скоростью обслуживания выходного маршрутизатора.

В соответствии с QoS передачи в сети трафик TDM планируется в маршрутизаторах до любого другого трафика из-за его наивысшего уровня передачи. Предполагалось, что скорость обслуживания, переменная сквозной задержки в определенном маршруте определяется как накопленной задержкой ожидания очереди, так и накопленной рабочей задержкой.

Дрожание трафика TDM определяется накопленной задержкой ожидания в очереди, вдоль всего маршрута, джиттер трафика TDM можно уменьшить, сделав каждый пакет короче.

По сравнению с трафиком Ethernet структура инкапсуляции пакета TDM относительно проста, и заголовок имеет фиксированную длину 96 бит [2]. Кроме того, поскольку пограничные маршрутизаторы

обладают широкими возможностями, по управлению выходными буферами, то можно реализовать большее количество политик работы. Таким образом, регулировка длины пакета TDM осуществима. Большой размер полезной нагрузки TDM пакетов может блокировать трафик с коммутацией пакетов, вызывая большую задержку и джиттер, тогда как небольшой размер полезной нагрузки будет снижать транспортную эффективность трафика TDM, поскольку размер блока данных (Protocol Data Unit PDU) постоянен в каждом пакете TDM. В результате в данной работе предлагается новая схема сегментирования, сборки и настройки (CCH) для улучшения производительности передачи путем динамической регулировки длины полезной нагрузки TDM, которая основана на анализе выше. Механизм работы предложенной схемы CCH показан на рисунке 2.

Как показано на рисунке 2, в источнике канала LSP битовый поток TDM сегментируется на пакеты фиксированной длины с помощью эмуляции TDM [7]. Сегментированные пакеты используются в качестве полезной нагрузки для следующих двух инкапсуляций путем добавления служебных данных PW и служебных данных MPLS-TP. Во время процесса передачи тип пакета OAM, называемый пакетом измерения задержки (delay measurement DM) [3], отправляется через определенный интервал (например, 5-10 с) с периодом 1 с. Пакет DM сопровождает пакеты TDM и записывает время их отправки и приема в виде двух меток времени в полях пакета DM. Сетевые приемники предназначены для отправки обратно пакетов DM к источнику, который определен в МСЭ-Т Y.1711 [3], и блок управления пакетами начнет работать, как только он начнет принимать пакеты DM.

Сначала устройство должно рассчитать каждое значение задержки трафика TDM, а затем рассчитать дисперсию и джиттер трафика TDM в течение этого одного-секундного периода. Существует таймер битового сегмента, который контролируется устройством. Если дисперсия и джиттер трафика TDM велики, таймер сократит период сегментации, чтобы уменьшить длину пакета, и наоборот. После нескольких попыток блок управления, наконец, найдет подходящую длину пакета TDM, и таймер сохранит относительный период сегментации, если только состояние сети не изменилось. С другой стороны, чтобы сгладить задержку и уменьшить дрожание трафика TDM, в выходном маршрутизаторе помещается небольшой буфер. Он может управлять задержкой очереди пакетов TDM в выходном узле и позволяет более крупным пакетам ждать более короткое время, а меньшие пакеты – более длительное время. Усилием восстановления тактового сигнала битовый поток TDM будет восстановлен в месте назначения. Синхронизация часов между источниками и получателями осуществляется с использованием протоколов IEEE 1588 [8]. Механизм работы схемы CCH обеспечивает лучший баланс между эффективностью и качеством передачи и, таким образом, улучшает характеристики трафика.

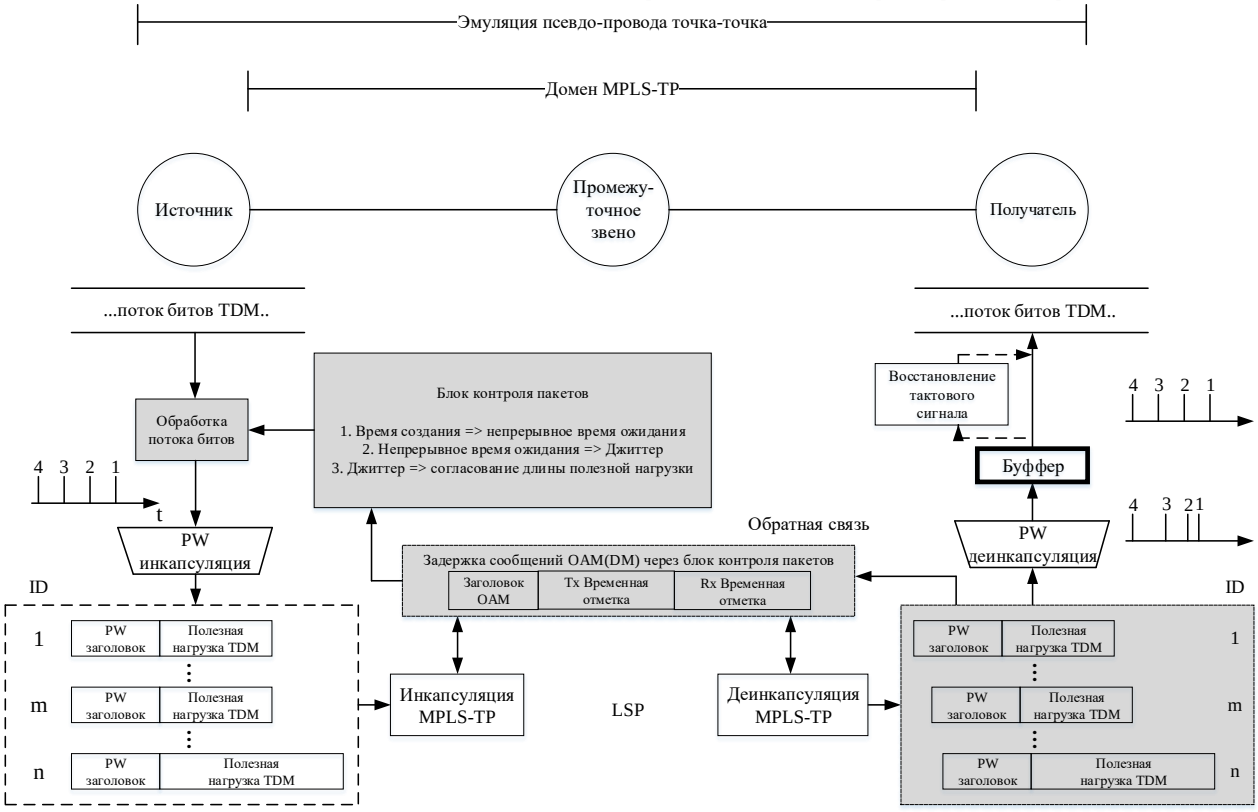


Рисунок 2 – Схема CCH для длины полезной нагрузки

В работе проводились два имитационных эксперимента, чтобы проверить производительность задержки трафика. Одним из них является моделирование статической длины TDM, а другим – моделирование динамической длины TDM. Первый продемонстрировал влияние длины пакета TDM на задержку и дисперсию задержки EF класса III и IV. Второй продемонстрировал улучшение производительности QoE трафика TDM и EF с использованием предложенной схемы CCH.

В моделировании статической длины TDM изменялась длина пакета TDM от 5256 бит до 30256 бит и сохранялась неизменной во время моделирования. Это означает, что это моделирование производилось без использования предложенной схемы CCH. Общая нагрузка на связи между узлами равна увеличению размера пакета. Следовательно, чем больше пакет TDM, тем меньше пакетов TDM отправляется за период. Конфигурация каждого источника трафика соответствовала параметрам, перечисленным в таблице 1. Для статистического анализа выбирались 10 соединений между различными источниками, пакет в среднем проходил в сети через четыре узла. В моделировании использовался алгоритм взвешенной справедливой очереди (Weighted Fair Queuing WFQ). В работе фиксировались сквозная задержка и дисперсия и вычислялись средние значения. Как показано на рисунке 3, кривые распределений Парето, логнормального распределения и Вейбулла обозначают три вида медиапотоков, ко-

торые различаются размером пакета. Экспоненциальные кривые демонстрируют производительность потоков VoIP.

На рисунках 3 (а) и 3 (б) показано, что, поскольку размер полезной нагрузки каждого пакета TDM увеличивается от 5256 битов до 30256 битов, вся задержка трафика EF увеличивается линейно, а дисперсия увеличивается экспоненциально. Однако задержки и отклонения потокового трафика больше, чем у трафика VoIP, из-за их значительно более высоких нагрузок трафика и более крупного размера потоков. С учетом двух уровней QoE, которые упомянуты в [4], и наличия высокоскоростного трафика в сети, качество потокового мультимедиа и услуг VoIP является неприемлемым, когда размер полезной нагрузки TDM превышает 20256 бит. Следовательно, предполагается, что без использования предложенной схемы соответствующий размер полезной нагрузки составляет порядка 15256 бит.

В работе производилось моделирование задержки TDM как функции времени моделирования (времени работы сети) без и с использованием предложенной схемы. Используя схему CCH, предполагалось, что длина полезной нагрузки TDM может составлять не более 20%, исходя из стандартной длины от 5256 бит до 25256 бит. Настройка длины TDM начиналась каждые 5 с и фиксировались показатели соединения с маршрутом. Кроме того, скорость передачи и соотношение трафика TDM оставались такими же, как при первом моделировании без использования данной схемы.

Из рисунков 4 (а) и 4 (б), можно обнаружить, что в течение периода моделирования 90 с характеристики задержки и дисперсии трафика TDM постоянно ухудшались с увеличением длины TDM.

Задержка трафика немного увеличивалась после активации схемы CCH. Поскольку для нее требовалось больше пакетов OAM, чтобы обнаруживать и сообщать о состоянии сети в реальном времени, эти пакеты OAM передавались быстрее, чем пакеты TDM.

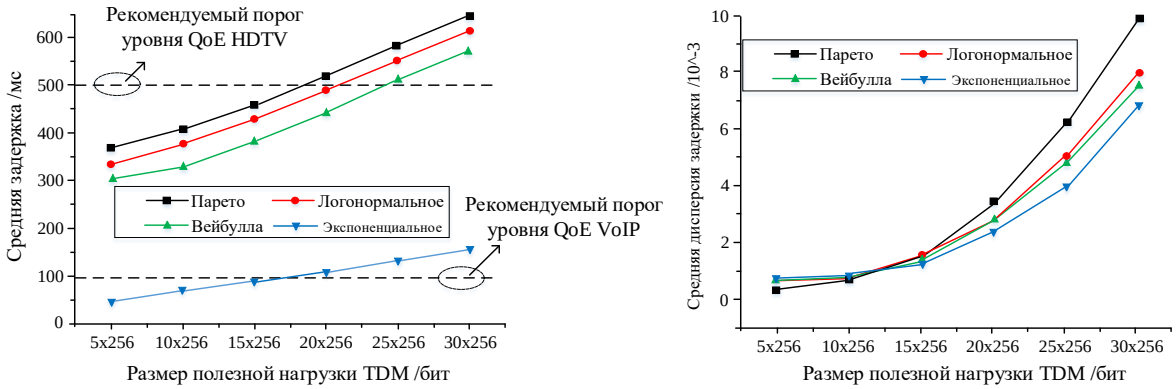


Рисунок 3 – Производительность передачи различного трафика в зависимости от размера полезной нагрузки TDM: (а) средняя задержка, (б) средняя задержка дисперсия

Однако, сравнивая рисунки 4 (а) и 4 (б), дисперсия и джиттер трафика с использованием схемы CCH намного лучше, чем без ее использования. Кроме того, ее использование позволяет обеспечить соответствие трафика TDM уровню QoE, при длине полезной нагрузки TDM, установленной больше, чем 20256 бит.

Чтобы изучить влияние всплеска трафика на QoE, в работе использовался коэффициент пульсации трафика *N*, чтобы описать отношение максимальной скорости к средней скорости трафика EF класса III.

Как показано на рисунках 5(а) и 5(б), пакет самоподобного трафика влияет в основном на характеристики дрожания трафика TDM, а также размер полезной нагрузки TDM.

Это связано с тем, что джиттер трафика TDM всегда становится больше, когда *N* продолжает увеличиваться. Между тем, характеристика дрожания быстро ухудшается и не может удовлетворить запрос QoE после того, как длина TDM превышает пороговое значение. Блокировка, вызванная трафиком с коммутацией пакетов, становится больше, когда пакеты TDM становятся больше. Однако с помощью CCH не только уменьшается дрожание трафика TDM, но и порог дрожания улучшается в среднем на 5256 бит.

В заключение, хотя задержка трафика TDM, будет увеличена, расчеты (рисунки 4 и 5) показывают, что это увеличение довольно мало. Кроме того, схема CCH повышает эффективность передачи трафика TDM. Это также уменьшает дисперсию трафика и джиттер, что более важно для запросов QoE сервисов.

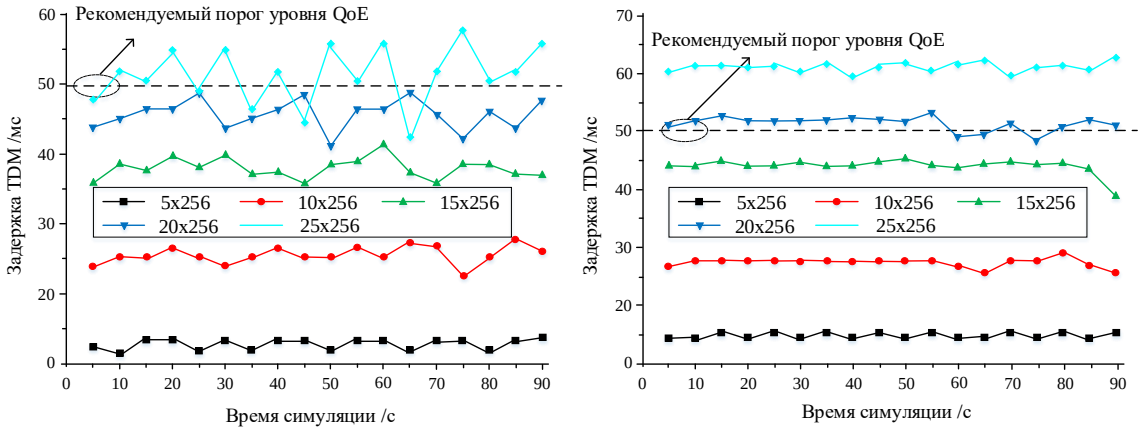


Рисунок 4 – Задержка TDM от времени моделирования: (а) без CCH, (б) с CCH

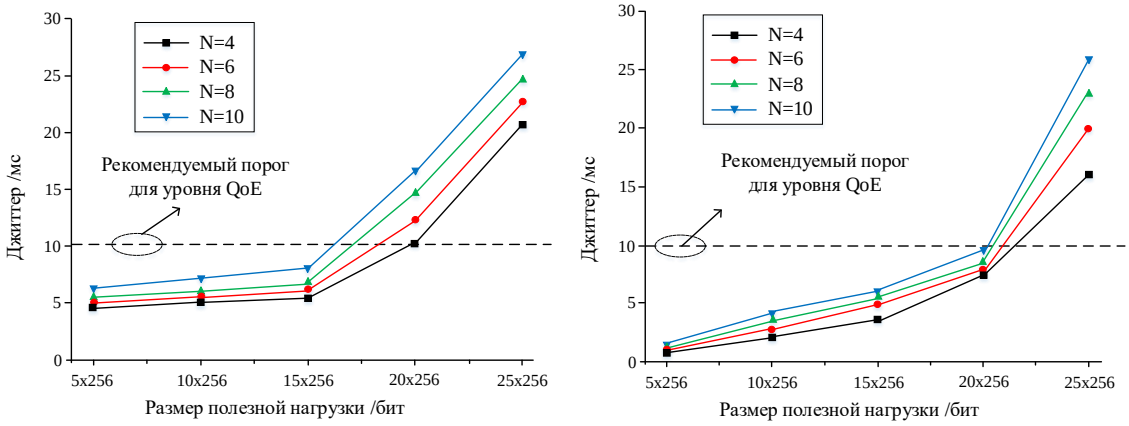


Рисунок 5 – Джиттер TDM от размера полезной нагрузки: (а) без ССН, (б) с ССН

Заключение

В этой работе моделировалась сеть MPLS-TP, а производительность сети была изучена путем внедрения TDM, VoIP и передачи трафика потокового мультимедиа. В работе была предложена новая схема ССН для улучшения интернет-трафика в сетях MPLS-TP. Численные результаты показывают, что полезная нагрузка TDM большая чем 20×256 бит, может ухудшить характеристики задержки и джиттера трафика. Предлагаемая схема может улучшить характеристики передачи в значительной степени за счет динамического регулирования полезной нагрузки TDM. Эти характеристики имеют решающее значение для трафика, такого как TDM или VoIP.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.8110.1/Y.1370.1 "Architecture of the Multi-Protocol Label Switching transport profile layer network," 2011, pp. 2.

2. ITU-T Recommendation G.8110.1, "Architecture of transport MPLS (T-MPLS) layer network," 2006, pp. 8-15.

3. ITU-T Recommendation Y.1711.1 "Operation & maintenance mechanism for T-MPLS layer networks," 2006.

4. H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, and E. Schooler. SIP: session initiation protocol. IETF RFC 3261, June 2002.

5. OPNET Inc. Support Center [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://opnetprojects.com/opnet-modeler/.

6. S. R. Gulliver and G. Ghinea, "The perceptual and attentive impact of delay and jitter in multimedia delivery," IEEE Trans. Broadcast., vol. 53, no. 2, pp. 449–458, 2007.

7. O. E. Kure, I. Sorteberg, and K. Oevsthus, "Architecture for TDM circuit emulation over IP in tactical networks," in IEEE Military Communications Conf., 2003, Boston, vol. 2, pp. 921– 926.

8. R. Subrahmanyan, "Timing recovery for IEEE 1588 applications in telecommunications," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 58, pp. 1858–868, 2009.

9. Петрянин Д.Л., Юрков Н.К., «Повышение точности моделей аппроксимации», статья в научном журнале «Надежность и качество сложных систем», 2016 стр. 59.

10. Затучный Д.А., «Повышение точности оценки достоверности информации, передаваемой при автоматическом зависимом наблюдении, на основе анализа качества дополнительных данных», статья в научном журнале «Надежность и качество сложных систем», 2017, стр. 11.

УДК 378.147: 37.036.5

Юрков[1] Н.К., Якимов[2] А.Н.

[1]ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

[2]ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Санкт-Петербург, Россия

ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ВУЗАХ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ

Рассмотрены принципы организации дистанционного образования в вузах России. Отмечены его особенности при подготовке специалистов технического профиля. Показаны возможности, проблемы и перспективы использования дистанционного высшего образования по техническим специальностям.

Ключевые слова:

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ, СТУДЕНТЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ

Введение

В настоящее время с развитием новых информационных технологий расширяется спектр информационных услуг и создаются условия для формирования единого глобального информационного и образовательного пространства. В связи с этим становится иной система образования. Современным обществом востребована личность, владеющая фундаментальными знаниями и практическими навыками; обладающая высоким уровнем креативного и аналитического мышления, навыками конструктивного поиска при решении личностных задач; способная к творческой самоорганизации [1, 2].

В высшем образовании одним из главных преимуществ информационных технологий является возможность обмениваться информацией различных форм, форматов и объемов. Всё более широкое применение на различных уровнях образования находит дистанционное обучение. Это связано с тем, что дистанционное обучение как инновационный образовательный процесс с использованием информационно-компьютерных технологий помогает обучающимся реализовывать собственные образовательные цели, направленные на развитие личности. При использовании дистанционной формы обучения значимыми становятся не только знания, но главное – умение их применять для решения конкретных жизненных проблем, способы приобретения знаний и их успешное использование в различных жизненных ситуациях, а также умение принимать ответственные аргументированные решения [1, 3].

Дистанционные технологии в образовании значительно расширили его возможности. В современном мире получать образование можно, находясь в любой точке планеты. И хотя традиционные формы получения образования не сдают своих позиций, технология дистанционного обучения в последнее время набирает все большую популярность. Происходит становление новой системы образования,

ориентированной на интеграцию в мировое информационно-образовательное пространство. Этот процесс сопровождается заметными изменениями в организации процесса обучения, который должен соответствовать современным техническим возможностям. Проникновение современных информационных технологий в сферу образования позволяет качественно изменить методы и организационные формы обучения, сделав его более удобным и доступным [4].

Основная часть

Дистанционное образование – это обучение, при котором взаимодействие студента и преподавателя между собой осуществляется на расстоянии. При этом процесс обучения отражает все присущие учебному процессу компоненты (цели, содержание, методы, организационные формы, средства обучения) и реализуется средствами интернет-технологий или другими средствами, предусматривающими интерактивность (диалог между сторонами). Именно поэтому, дистанционное обучение можно считать самостоятельной формой обучения, в котором информационные технологии являются ведущим средством [3].

Средства оперативного доступа к информации по компьютерным сетям придают качественно новые возможности дистанционному обучению. Развитые средства телекоммуникации, использование спутниковых каналов связи, передача упакованного видеоизображения по компьютерным сетям активно применяются в практике дистанционного образования. Индивидуальная работа с электронными учебниками дает глубокое усвоение и понимание материала. Электронная почта – наиболее эффективная технология, используемая в процессе обучения для доставки содержательной части учебных курсов и обеспечения обратной связи обучаемого с преподавателем. Однако она имеет ограниченный педагогический эффект из-за невозможности реализации диалога между преподавателем и студентами, принятого в традиционной форме обучения. Режим доступа on-line позволяет оперативно осуществлять передачу учебного материала.

Используемые технологии дистанционного образования можно разделить на три большие категории [1]:

не интерактивные (печатные материалы, аудио- и видео-носители);

средства компьютерного обучения (электронные учебники, компьютерное тестирование и контроль знаний, новейшие средства мультимедиа);

видеоконференции – развитые средства телекоммуникации по аудиоканалам, видеоканалам и компьютерным сетям.

Высшие учебные заведения на сегодняшний день предлагают получить образование в дистанционном режиме по многим специальностям. Некоторые из них даже предоставляют возможность овладеть техническими специальностями в удаленном режиме. Однако, следует помнить, что техническое образование подразумевает не только получение теоретических знаний, но и умение работать на специальном оборудовании. Именно поэтому с дистанционной формой обучения техническим дисциплинам нередко возникает ряд трудностей. Высшие учебные заведения вправе потребовать от студента подтверждения возможности выполнения практические заданий – это может быть предприятие или специальные учебные кабинеты. Как правило, для решения вышеописанной проблемы учебные заведения обеспечивают студентов файлами, в которых содержатся прикладные программы и практические задания. Выполнив все указания преподавателей, студенты получают базу для применения профессиональных навыков на производстве [5].

Дистанционное обучение обладает многими преимуществами, а если получать такое образование по техническим профессиям, то можно выделить следующие плюсы

возможность совмещать работу и учебу;

график учебы строится студентом самостоятельно;

можно закончить обучение в сжатые сроки – допускается сдача экзаменов экстерном;

техническое образование можно получить в самых престижных вузах страны.

Есть и некоторые минусы дистанционного обучения техническим специальностям:

отсутствие непосредственного контакта с преподавателем, что не позволяет проводить практические занятия под руководством специалиста;

необходимость самостоятельно решать проблему материально-технической базы для выполнения лабораторных и практических заданий в рамках учебной программы;

самодисциплина и самоорганизация учебного процесса.

Высшие учебные заведения стараются максимально решить возникающие проблемы при дистанционном обучении техническим специальностям. Например, многие из них заключают договора с производственными предприятиями, которые берут на работу студентов и позволяют проводить в стенах организации необходимую практическую деятельность. Учащемуся облегчают задачи их самодисциплинирования – проводят семинары в режиме онлайн общения, регулярно проводят консультации, во время которых осуществляется общение между студентом и преподавателем. Техническое образование – единственное направление в дистанционном обучении, которое требует проведения очных лекций, семинаров, практических работ и конференций [5].

Высшее дистанционное техническое образование в настоящее время базируется на принципах модальности, подразумевающих возможность выбора определенного набора программ по обучению или переподготовке по тем или иным дисциплинам. При этом студенты могут сами определиться с формой обучения, отдав предпочтение:

заочно-дистанционной форме;

частично удаленной;

полностью дистанционной учебе.

Как правило, дистанционно техническим специальностям обучаются уже взрослые сформировавшиеся люди, не имеющие возможность отвлекаться от рабочего процесса. В связи с этим при подборе методики и организации учебного процесса учитывается как имеющийся профессиональный, так и жизненный опыт поступившего студента. Важными моментами обучения становятся гибкость и адаптивность образовательных программ, адекватность к базовым требованиям рынка.

Высшее техническое образование дистанционно сопряжено с четкой дифференциацией подхода к каждому обучаемому. При этом очень важен контроль процесса обучения. Современные интернет-технологии позволяют проводить промежуточные дифференциальные зачеты и сессии в режиме онлайн – студенту присылаются практические задания и тестовые вопросы. Ему предоставляется определенный срок для отправки выполненных заданий на проверку. Перспективным оказывается проведение тестирования студентов в реальном времени: студент отвечает на вопросы экзаменатора, например, с помощью приложения Skype. При этом, государственные экзамены и защиту дипломной работы обычно проводят непосредственно в учебном заведении – личное присутствие выпускника обязательно[5].

Серьезном ограничением для внедрения дистанционного обучения техническим специальностям является невозможность проведения дистанционных лабораторных работ на базе традиционных технологий обучения и морально устаревшего приборного парка. Современный уровень развития информационных технологий открывает самые широкие перспективы и возможности для изучения явлений, протекающих в технических устройствах и системах. Эти явления можно моделировать в различных компьютерных средах или изучать процессы, протекающие в реальных устройствах и системах, с помощью соответствующего аппаратного и программного обеспечения. Разумное сочетание традиционных лабораторных работ и работ, выполняемых с

помощью дистанционных технологий, является приоритетным направлением совершенствования инженерного образования [6].

Выполнение дистанционных лабораторных исследований возможно в двух вариантах:

• в режиме моделирования – студент работает с компьютерной моделью лабораторного стенда;

• в режиме реальных измерений – студент работает с реальным лабораторным стендом.

Режим компьютерного моделирования позволяет пользователю подготовиться к работе с реальным оборудованием или может использоваться для сравнения результатов моделирования с результатами реальных измерений.

Внедрение дистанционных технологий в образовательный процесс по техническим дисциплинам позволяет модернизировать устаревшую измерительную лабораторную базу и повысить функциональность и качество лабораторных практикумов, предоставить доступ к реальному оборудованию из любой географической точки, а также обеспечить доступ к оборудованию других вузов и промышленных предприятий [6].

Долгое время препятствиями для широкого использования компьютерного моделирования в образовательных целях была необходимость создания компьютерных моделей средствами программирования, которое требует серьезных затрат времени и сил. Применение инструментальных программных комплексов визуального моделирования предоставляет возможность быстрой разработки компьютерных моделей и проведения модельного эксперимента. Программные комплексы визуального моделирования позволяют быстро конструировать модели, наглядно представлять результаты моделирования, варьировать значения параметров модели в ходе экспериментов, т.е. позволяют сконцентрировать внимание на модельном эксперименте.

Так как построение моделей принципиально упрощается, то основой изучения процессов, явлений и систем становится компьютерный эксперимент, т.е. активная творческая форма проведения занятий. Таким образом, организация занятий на основе инструментальных программных комплексов моделирования позволяет повысить качество преподавания и результаты учебной деятельности. Результатом обучения будет знание, полученное активным творческим путем. Таким образом, компьютерное моделирование составляет неотъемлемую часть не только современной науки и техники, но и образования, причем по важности для вузовского образования оно приобретает первостепенное значение [7].

Заключение

Дистанционный способ обучения обладает всеми возможностями, необходимыми для обеспечения высшего технического образования. Такой подход к обучению повышает познавательную активность студентов за счет специально организованной подачи материала, обеспечивающей возможности для их успешной самостоятельной образовательной деятельности, и внедрения современных интернет-технологий. Перспективным направлением совершенствования дистанционного образования по техническим специальностям является внедрение дистанционных лабораторных исследований в режимах компьютерного моделирования и реальных измерений.

Внедрение дистанционных технологий, является приоритетным направлением совершенствования инженерного образования, особенно в условиях чрезвычайных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Осипова, Л.Б.* Дистанционное обучение в вузе: модели и технологии/ Л.Б. Осипова, О.М. Горева // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. – 2014. – № 5. – URL: https://science-education.ru/ ru/article/view?id= 14612/ (дата обращения: 02.04.2020).

2. *Юрков, Н.К.* Развитие творческих способностей в рамках высшего технического образования / Н.К. Юрков А.Н. Якимов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т 1. – С. 326-329.

3. *Маркова, Н.А.* К вопросу о реализации возможностей дистанционного обучения в техническом вузе/ Н.А. Маркова// Молодой ученый. – 2015. – №9. – С. 1126-1129. – URL: https://moluch.ru/archive/89/18268/ (дата обращения: 02.04.2020).

4. Организация образования // [Электронный ресурс]. – URL: http://www.kp.ru/ guide/ organizatsija-obrazovanija.html/ (дата обращения: 02.04.2020.

5. Удаленное техническое образование // [Электронный ресурс]. – URL: https://edunews.ru/onlajn/napravleniya/tehnicheskoe-obrazovanie-distancionno.html#l2/ (дата обращения: 02.04.2020).

6. *Салахова, А.Ш.* Организация и методика проведения дистанционных лабораторных работ по общепрофессиональным техническим дисциплинам А.Ш. Салахова, В.А. Козлов // Открытое образование. – 2014. – № 5. – С. 74-79.

7. *Юрков, Н.К.* Компьютерное моделирование и его роль в современном вузовском образовании/ Н.К. Юрков, А.Н. Якимов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т 2. – С. 373-374.

УДК 004.056.2

Гузаиров М.Б., Фрид А.И., Вульфин А.М., Берхольц В.В.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», *Уфа, Россия*

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕТРИИ

В статье предлагается способ решения задачи обеспечения целостности данных о состоянии подсистем летательного аппарата при их передаче на предприятие-изготовитель. Проведен анализ атак злоумышленника на целостность этих данных. Для принятия решения о целостности данных предлагается сопоставлять данные, полученные с подсистем летательного аппарата, и данные, генерируемые моделью аналогичных подсистем на предприятии-изготовителе.

Ключевые слова:

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ, ЦЕЛОСТНОСТЬ, БЛОК ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Введение

Обеспечение гарантоспособности систем передачи телеметрической информации (ТМИ) является одной из важных задач обеспечения эффективного функционирования летательного аппарата (ЛА). Возможность передачи ТМИ о фактическом состоянии отдельных модулей в процессе эксплуатации и всего комплекса аппаратуры ЛА в реальном масштабе времени на предприятие-изготовитель (ПИ) узлов авиационной техники позволяет повысить эффективность эксплуатации ЛА в штатном состоянии и при возникновении сбоев и атак злоумышленников – при расследовании инцидентов.

Необходимость передачи ТМИ на ПИ с целью последующего анализа является одним из направлений совершенствования перспективных бортовых систем. Актуальной является проблема построения защищенных систем сбора, хранения и обработки ТМИ в подобных системах. Так, исследование систем связи «земля-борт» показало, что система ACARS, несмотря на ее универсальность и повсеместное использование, является уязвимой, и при

взломе в паре с ADS-B злоумышленник может получить доступ к системе управления полетом, загрузить полетные планы и подробные команды.

Целью данной статьи является повышение уровня защиты целостности данных, получаемых с борта ЛА о состоянии ее подсистемы ЛА.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

Выявить и проанализировать атаки, которые злоумышленник может совершить на передаваемые с борта ЛА данные.

Построить систему поддержки принятия решения о целостности переданных данных с борта ЛА на предприятие- изготовитель.

Основная часть

Анализ возможных действий злоумышленника, направленных на нарушение целостности ТМИ

Данные о состоянии подсистем ЛА, полученные во время полета, считываются с ЛА на станциях технического обслуживания и передаются в корпоративную информационную сеть (КИС) через Интернет-соединение. Далее ТМИ поступает в модуль интеграции подсистем КИС. Внутренними злоумышленниками [1], способными внести модификации для рассматриваемой системы, могут являться администраторы корпоративной информационной системы, подсистем хранения, подсистем обработки, баз данных и бизнес-процессов ПИ, а также персонал по техническому обслуживанию (ТО) на станциях ТО.

Нарушитель может осуществлять следующие действия по нарушению целостности ТМИ [2]:

1) подмену базовой и/или абонентской радиостанции – подавление сигнала базовой/абонентской радиостанции и радиообмен с помощью собственной радиостанции нарушителя, передающей поддельную информацию;

2) отправку поддельной информации в радиоканал – создание пакета данных с поддельной телеметрической информацией и отправка его базовой/абонентской радиостанции;

3) повторную отправку ранее перехваченной в радиоканале информации – перехват легитимного сообщения, передаваемого по радиоканалу, и его повторная отправка участнику движения через некоторый период времени.

В общем случае, различные случаи нарушения целостности злоумышленником можно описать следующим выражением:

$$x(t)=\varepsilon(t)*(\varphi(x'(t)) \quad (1)$$

где $x(t)$ – значение принимаемого параметра подсистемы ЛА в t момент времени,

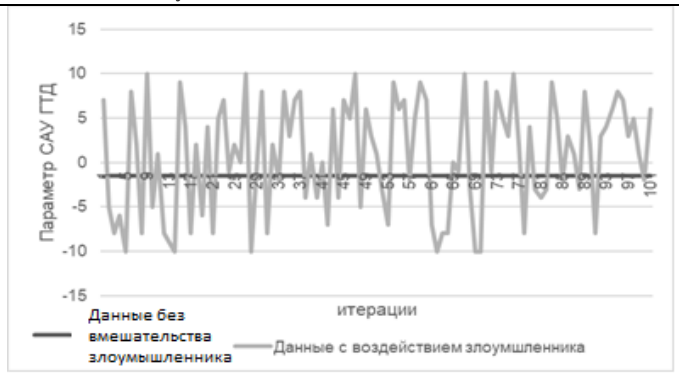
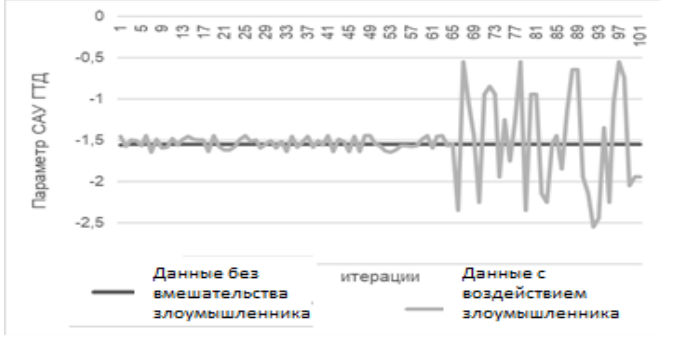
$\varepsilon(t)$ – шум, накладываемый на сигнал в t момент времени,

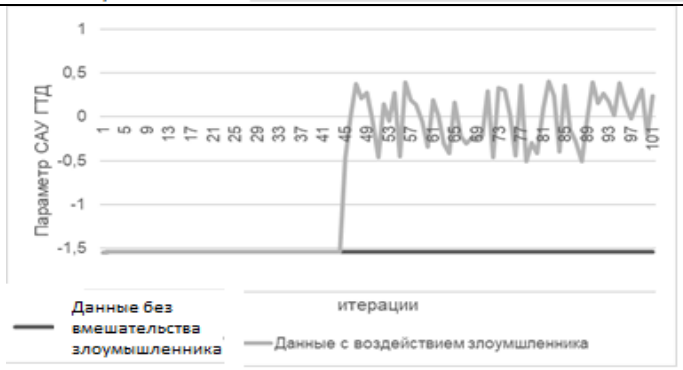
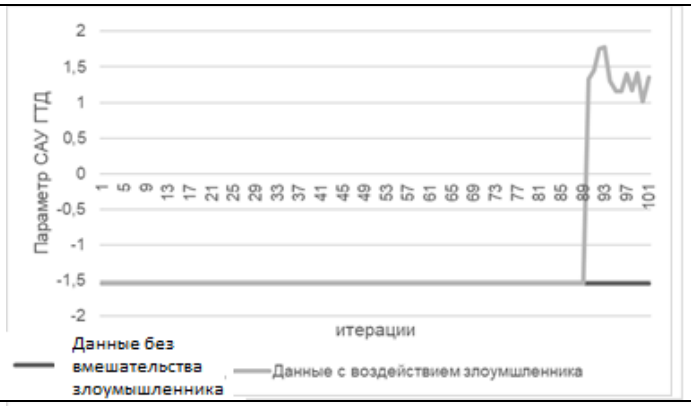
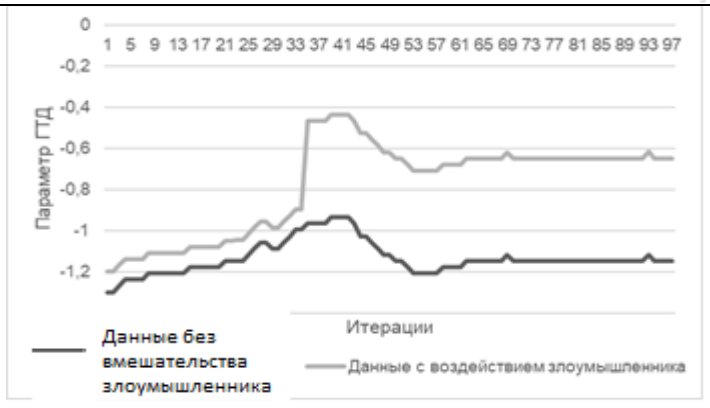
$x'(t)$ – передаваемое значение параметра подсистемы ЛА в t момент времени,

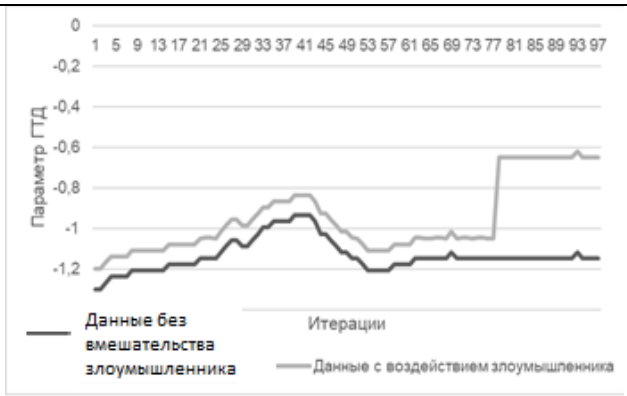
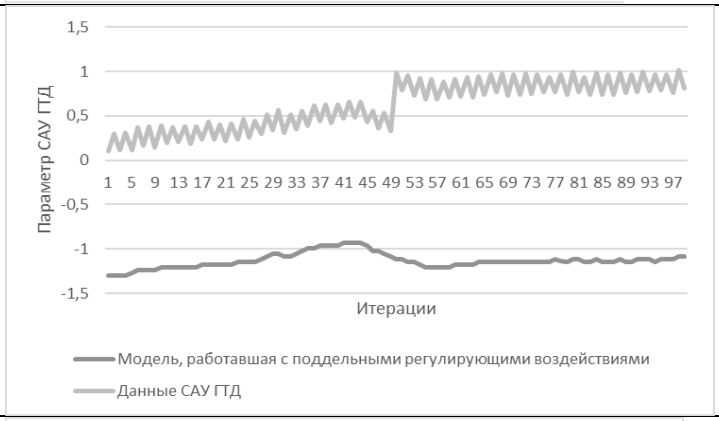
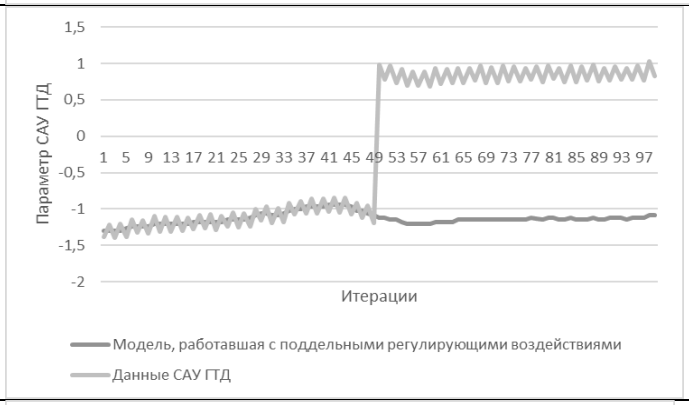
$\varphi(x'(t))$ – воздействие злоумышленника на передаваемое значение параметра подсистемы ЛА в t – момент времени.

Для анализа возможных атак злоумышленника на ТМИ представим данные, полученные с ЛА, в виде технологических временных рядов (ТВР) [3,4]. Рассмотрим два ТВР: данные, полученные ЛА и те же данные, но с вмешательством злоумышленника, в выбранном временном окне. В таблице 1 показаны различные типы атак злоумышленника.

Таблица 1

№	Тип атаки злоумышленника	Описание
1А		Наложение шума на передаваемые параметры подсистем ЛА. А. В течение всего временного окна
1Б		Наложение шума на передаваемые параметры подсистем ЛА. Б. В половине временного окна
1В		Наложение шума на передаваемые параметры подсистем ЛА. В. В конце временного окна

2А		Подмена передаваемых параметров подсистем ЛА. на данные, непохожие на подлинные. А. В течение всего временного окна
2Б		Подмена передаваемых параметров подсистем ЛА. на данные, непохожие на подлинные. Б. В половине всего временного окна
2В		Подмена передаваемых параметров подсистем ЛА. на данные, непохожие на подлинные. В. В конце временного окна
3А		Увеличение (уменьшение) параметров подсистем ЛА при сохранении характера поведения параметров. А. В течение всего временного окна
3Б		Увеличение (уменьшение) параметров подсистем ЛА при сохранении характера поведения параметров. Б. В половине всего временного окна

3В		Увеличение (уменьшение) параметров подсистем ЛА при сохранении характера поведения параметров. В. В конце временного окна
4А		Подделка управляющих воздействий. А. В течение всего временного окна
4Б		Подделка управляющих воздействий. Б. В половине всего временного окна
4В		Подделка управляющих воздействий. В. В конце временного окна

Система поддержки принятия решения о целостности принятых данных о состоянии подсистем ЛА

После анализа возможных атак, которые злоумышленник может совершить на данные с целью нарушить их целостность, необходимо построить систему поддержки принятия решения о наличии такой атаки. Решение о наличии или отсутствии модификации данных будет осуществляться на основе сравнения полученных данных и данных, генерируемых моделью подсистемы ЛА на ПИ, с использованием сигнала системы контроля о состоянии подсистемы ЛА.

На рисунке 1 представлена структурная схема системы, реализующей мониторинг целостности ТМИ о подсистеме ЛА, получаемой с модели и с борта ЛА.

В систему управления ЛА и его подсистем поступает вектор F, характеризующий свойства внешней среды, такие как параметры атмосферного воздуха: температуру за бортом ЛА, давление и прочее. Вектором E обозначены дополнительные эксплуатационные факторы [5]. Исходящими являются векторы Y и X. Если в качестве подсистемы ЛА рассматривать авиационный газотурбинный двигатель и его систему автоматического управления (САУ ГТД), то вектор Y может включать в себя параметры регулирования, такие как частоты вращения роторов, давление воздуха за компрессором, температура газа за турбиной и т.д.

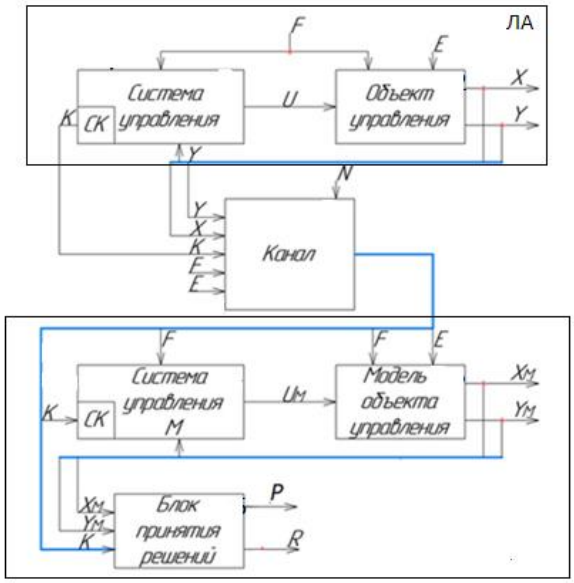


Рисунок 1 - Структурная схема системы, реализующей мониторинг целостности телеметрической информации

Вектор X включает следующие характеристики ГТД: тяга, скорость ее изменения, удельный расход топлива и прочее. В ГТД поступает вектор управляющих воздействий U, формируемый системой управления. Система контроля САУ ГТД ЛА формирует сигнал (К) о состоянии (исправна/неисправна) САУ ГТД.

Векторы X,Y,K,F,E отправляются через канал передачи данных на ПИ. Канал подвергаются воздействию внешних факторов, и информация в нем подвергается шумам, воздействие которых обозначено вектором N.

Кортеж векторов (X,Y,K,F,E) поступает на предприятие изготовитель. На ПИ модель подсистемы ЛА по параметрам полета (векторы E и F) генерирует сигналы $Y_м$ (аналог вектора Y) и $X_м$ (аналог вектора X).

Векторы X, Y, $Y_м$, $X_м$ отправляются в блок принятия решения, где они сравниваются, а также проверяется состояние сигнала системы контроля (К), после чего принимается решение о том, было ли совершено воздействие на систему злоумышленником, произошел отказ в оборудовании или работа продолжается в штатном режиме [6].

Оценки согласованности, на основе которых принимается решение о наличии вмешательства злоумышленника, следующие: коэффициент корреляции, коэффициент детерминации, средний процент отклонения.

Коэффициент корреляции вычисляется по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})\cdot(y_i-\bar{y})}{(n-1)\cdot S_x\cdot S_y} \quad (2)$$

где n- размер выборки, $\bar{x}$, $\bar{y}$- это выборочные средние величин, а Sx и Sy выборочные среднеквадратичные отклонения.

Коэффициент детерминации вычисляется по формуле:

$$R^2 = r_{xy}^2 \quad (3)$$

Средний процент отклонения (Mean absolute percent error, MAPE) рассчитывается по формуле:

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|x_i-y_i|}{x_i}\cdot 100\% \quad (4)$$

Для определения лингвистических переменных, характеризующих каждый из параметров согласования, разработана таблица 2.

Таблица 2

Лингвистическая переменная	Коэф. детерминации	Коэф. корреляции	MAPE
низкий	x>0.8	x>0.9	x>15x
средний	0.65<x<0.8	0.8<x<0.9	10<x<15
высокий	x<0.65	x<0.8	x<10

СКК-система контроля канала. В случае если СКК=1, с каналом все нормально, в противном случае- СКК=0.

Для работы блока принятия решений (БПР) разработан следующий свод правил (54 правила), на основании которых выносится решение о целостности передаваемой ТМИ.

Правило 1. $(r_{xy} = '\text{средний}')$И$(R = '\text{средний}')$И $(MAPE = '\text{средний}')$ И(СКК=0) произошел обрыв сигнала

Правило 2. $(r_{xy} = '\text{низкий}')$И$(R = '\text{низкий}')$И$(MAPE = '\text{высокий}')$ И (СКК=0) произошел обрыв сигнала

Правило 3. $(r_{xy} = '\text{низкий}')$И$(R = '\text{низкий}')$И$(MAPE = '\text{высокий}')$ И (СКК=0) произошел обрыв сигнала

Правило 4. $(r_{xy} = '\text{высокий}')$И $(R = '\text{высокий}')$И$(MAPE = '\text{высокий}')$ И (СКК=1) нормальный режим работы

Правило 5.($r_{xy} = '\text{высокий}')$И($R = '\text{высокий}')$И $(MAPE = '\text{низкий}')$ И (СКК=1) нормальный режим работы

Правило 6.($r_{xy} = '\text{средний}')$И$(R = '\text{средний}')$И$(MAPE = '\text{низкий}')$ И (СКК=1) нарушение целостности

…

Правило 54. $(r_{xy} = '\text{низкий}')$ И$(R = '\text{низкий}')$И $(MAPE = '\text{низкий}')$ И (СКК=1) нарушение целостности.

Ниже представлены примеры вычисленных значений параметров согласованности в различных временных окнах и показана работа блока принятия решений в соответствии с разработанными обозначенными правилами.

Пример 1. $r_{xy} = 0.56$ $R = 0.34$ $MAPE = 11{,}88\%$ ССК=0.

В соответствии с таблицей 2 $(r_{xy} = '\text{низкий}')$И$(R = '\text{низкий}')$И $(MAPE = '\text{низкий}')$ И(СКК=0). Результат работы блока принятия решений – обрыв сигнала.

Пример 2. $r_{xy} = 0.19$ $R = 0.08$ MAPE=16,31% ССК=1

В соответствии с таблицей 2 $(r_{xy} = '\text{низкий}')$И$(R = '\text{низкий}')$И $(MAPE = '\text{низкий}')$ И(СКК=1). Результат работы блока принятия решений – нарушение целостности.

Пример 3. $r_{xy} = 0{,}36$ $R = 0.11$ MAPE=41,81% ССК=1

В соответствии с таблицей 2 $(r_{xy} = '\text{низкий}')$И$(R = '\text{низкий}')$И $(MAPE = '\text{низкий}')$ И(СКК=0). Результат работы блока принятия решений – нарушение целостности.

Пример 4. $r_{xy} = 0.86$ $R = 0.76$ MAPE=9,35% ССК=1

В соответствии с таблицей 2 $(r_{xy} = '\text{высокий}')$И $(R = '\text{высокий}')$И$(MAPE = '\text{высокий}')$ И (СКК=1). Результат работы блока принятия решений – нормальная работа.

Пример 5. $r_{xy} = 0.86$ $R = 0.74$ MAPE=11,35% ССК=1. В соответствии с таблицей 2 $(r_{xy} = '\text{высокий}')$И $(R = '\text{высокий}')$И$(MAPE = '\text{средний}')$ И (СКК=1). Результат работы блока принятия решений – нормальная работа.

Заключение

Предложен алгоритм поддержки принятия решения о целостности данных, поступающих с борта летательного аппарата о состоянии его подсистем на предприятие-изготовитель. Для построения системы проанализированы возможные атаки злоумышленника и выделено 4 типа атак: наложение шума на передаваемые параметры о состоянии подсистем ЛА, подмена передаваемых данных. на данные, непохожие на подлинные, увеличение (уменьшение) значений параметров подсистем ЛА при сохранении характера их поведения, подделка управляющих воздействий. Эти типы атак были поделены по моменту начала атаки в выделенном временном окне: в начале, в середине или же в конце. На основе

анализа типов возможных атак и сопоставления двух технологических временных рядов (данных, полученных с летательного аппарата, и тех же данных, но с воздействием злоумышленника), построена система поддержки принятия решения о целостности данных. В ней на предприятии-изготовителе сопоставляются два технологических ряда: данные, полученные с летательного аппарата, и данные, сгенерированные моделью. Сравнение осуществляется путем вычисления параметров согласованности, таких как: коэффициенты корреляции и детерминации и средний процент отклонения. Финальное решение о наличии или отсутствии вмешательства злоумышленника на принятые данные принимается на основе разработанных правил, в которых учитываются значения параметров согласованности и сигнал системы контроля исправности подсистемы. Моделируя множество возможных комбинаций и накопив достаточную статистику, можно получить оценку вероятности правильности принятого решения о целостности принятых с ЛА данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко В.И., Терновсков В.Б. Защита информации от внутренних угроз, Труды Международного симпозиума надежность и качество 2019 Т. 2 стр. 158-160

2. Васильев В. И., Вульфин А.М., Берхольц В. В., Кириллова А.Д., Бельский С.М. Анализ рисков обеспечения целостности телеметрической информации с использованием технологии когнитивного http://journal.ugatu.ac.ru/index.php/Vestnik/article/view/2216 (дата обращения: 15.03.2020)

3. Ярушкина, Н. Г. Интеллектуальный анализ временных рядов: учебное пособие /Н. Г. Ярушкина, Т. В. Афанасьева, И. Г. Перфильева. –Ульяновск :УлГТУ, 2010 320 с.

4. Михеев М.Ю., Прокофьев О.В., Голубкова И.В. Метод анализа короткого временного ряда в контрольной карте Шухарта, Труды Международного симпозиума надежность и качество 2019 Т. 2 стр. 304-307

5. Гольберг Ф. Д. Математические модели авиационных газотурбинных двигателей как объект управления /. Гольберг Ф. Д., Батенин А. В. - Москва: издательство МАИ, 1999 – 82с

6. Guzairov M.B. Frid A.I., Vulfin A.M., Berkholts V.V. The concept of integrity of telemetric information about the state of an aircraft power plant monitoring // Proceedings of 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS) Электронный ресурс https://ieeexplore.ieee.org/document/8950020

УДК 528.8.

Орнов А.К., Ануар Г.А., Абдирашев О.К., Калманова Д.М., Ергалиев Д.С.

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Республика Казахстан

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ОДНООСНОЙ ОРИЕНТАЦИИ НАНОСПУТНИКА ПО АНАЛИЗУ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ВИДИМОСТИ

В настоящее время большинство космических аппаратов (КА) являются низковысотными (высота полета менее 1000 км). Это даёт возможность широко использовать их не только в научных, но и в образовательных целях.

Для того, чтобы управлять полетами и экспериментами, которые проводятся на борту низковысотных наноспутников в режиме времени, очень близкому к реальному, необходимо создать систему контроля динамики движения, что даёт оперативно и автономно решать задачи навигации и определения ориентации. Так, например, для правильной интерпретации результатов, необходима информация о векторе состояния наноспутника, на борту которого проводятся научные и технологические эксперименты. При этом, требования к точности знания некоторых элементов вектора состояния наноспутника (например, ориентации) могут быть невысокими (погрешности порядка 5°).

Ключевые слова:

НИЗКОВЫСОТНЫЙ НАНОСПУТНИК, СПУТНИКОВАЯ РАДИОНАВИГАЦИЯ, НАВИГАЦИОННЫЙ ПРИЕМНИК, ОДНООСНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ, ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ВИДИМОСТЬ

Введение

С помощью навигационных приёмников (НП), работающих по спутниковым радионавигационным системам (СРНС) ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США) решается задачи навигации (определение параметров движения центра масс) и определения ориентации [1,2].

Следует отметить, что при определении ориентация используется не вся спутниковая радионавигационная информация в НП в полном объеме. Используется определенный информационный резерв, который совместно с информацией от дополнительного измерительного устройства (магнитометр, солнечный датчик, датчики горизонта, ионные ловушки, звездные фотометры, акселерометры, датчики угловых скоростей и т.п.) позволяет решать одномоментно задачу определения ориентации.

Современные методы определения ориентации можно разделить на два класса: интегральные и локальные [3,4].

1. Интегральные методы. В основу интегральных методов положена идея применения математической модели движения относительно ЦМ, чтобы объединять измерения, полученных на определенном интервале времени, что является достаточным для обработки.

Интегральный метод определения ориентации можно осуществить и на основе измерений одного направления. Но при этом, нужно учитывать, тот факт, что измеряемый вектор должен существенно изменять свое направление на определенном интервале времени, в противном случае ориентация КА может быть определена лишь с точностью до произвольного поворота вокруг этого вектора.

Основная часть

Алгоритм оценки определения одноосной ориентации оси космического аппарата основывается на использовании информации о пространственном положении НС СРНС ГЛОНАСС и GPS [5].

Для определенности будем считать, что антенна расположена по продольной оси КА (i=1). Задача определения ориентации продольной оси КА сводится к отысканию оценки вектора направляющих косинусов фазового центра антенны НП $\widehat{\boldsymbol{A}}_2 = (\hat{x}_2, \hat{y}_2, \hat{z}_2)^T$, расположенной по продольной оси КА из условия минимума целевой функции $\Phi(x_2, y_2, z_2)$, отражающей условия видимости/невидимости НС

$$\begin{cases} cos(\boldsymbol{a}_2, \boldsymbol{grad}_{B_i}) \geq cos(\alpha), & (i = \overline{1, N_B}); \\ cos\left(\boldsymbol{a}_2, \boldsymbol{grad}_{HB_j}\right) < cos(\alpha), & (j = \overline{1, N_{HB}}), \end{cases} \quad (1)$$

где $\boldsymbol{grad}_i = \{x_{2i}, y_{2i}, z_{2i}\}$ – единичный вектор дальности до i-го НС, в проекциях на оси ОСК; N_B, N_{HB} – количество видимых и невидимых НС соответственно; α – угол полураствора конуса затенения,

с учетом условия нормировки направляющих косинусов фазового центра антенны НП $x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 = 1$ [6].

Процедура решения задачи определения ориентации продольной оси низковысотного КА включает следующие этапы:

1. Расчет эфемерид невидимых навигационных спутников СРНС ГЛОНАСС и GPS на моменты времени решения задачи определения [7].

Пересчет эфемерид НС СРНС ГЛОНАСС с момента времени задания эфемерид $t_э$ на моменты измерения навигационных параметров t_i, когда ($|\tau_i| = |t_i - t_э| \leq 15$ мин), проводится методом численного интегрирования дифференциальных уравнений движений НС.

Для расчета координат навигационных спутников GPS по данным оперативной информации, передаваемой со спутников, интерфейсный контрольный документ по GPS предлагает следующий алгоритм расчета.

Координаты спутников в геоцентрической фиксированной системе координат (ECEF) рассчитываются по формулам:

$$\begin{cases} x_k = x_k' \cdot \cos\Omega_k - y_k' \cdot \cos i_k \cdot \sin\Omega_k \\ y_k = x_k' \cdot \sin\Omega_k + y_k' \cdot \cos i_k \cdot \cos\Omega_k \\ z_k = y_k' \cdot \sin i_k \end{cases}. \quad (2)$$

2. Пересчет дальностей до видимых/невидимых НС из абсолютной системы координат (АСК) в ОСК с помощью матрицы

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} -\sin u\cos\Omega - \cos u\sin\Omega\cos i & \cos u\cos\Omega - \sin u\sin\Omega\cos i & -\sin\Omega\sin i \\ -\sin u\sin\Omega + \cos u\cos\Omega\cos i & \cos u\sin\Omega + \sin u\cos\Omega\cos i & \cos\Omega\sin i \\ \cos u\sin i & \sin u\sin i & -\cos i \end{bmatrix}. \quad (3)$$

3. Исключение из рассмотрения невидимых спутников, затененных Землёй. Условие затенения Землёй:

$$z_{2k} < 0 \quad и \quad |z_{2k}| > cos\left(arcsin\left(\frac{R_э}{R_э+h}\right)\right), \quad k = \begin{cases} 1, N_{Глонасс} \\ 1, N_{GPS} \end{cases}. \quad (4)$$

4. Отыскание оценки вектора направляющих косинусов фазового центра антенны из условия минимума целевой функции, отражающей условия видимости/невидимости НС (1).

$$\Phi(x_2, y_2, z_2) = \sum_{i=1}^{N_B}(x_{2i}x_2 + y_{2i}y_2 + z_{2i}z_2 - 1)^2 + \sum_{j=1}^{N_{HB}}\left(x_{2j}x_2 + y_{2j}y_2 + z_{2j}z_2 + 1\right)^2 \quad (5)$$

где N_B – количество видимых НС; N_{HB} – количество невидимых НС.

Процедура минимизации целевой функции (5) сводится к решению системы трёх линейных уравнений

$$\begin{cases} \left(\sum_{i=1}^{N_B} x_{2i}^2 + \sum_{j=1}^{N_{HB}} x_{2j}^2\right)\cdot x_2 + \left(\sum_{i=1}^{N_B} x_{2i}y_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} x_{2j}y_{2j}\right)\cdot y_2 + \left(\sum_{i=1}^{N_B} x_{2i}z_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} x_{2j}z_{2j}\right)\cdot z_2 = \sum_{i=1}^{N_B} x_{2i} - \sum_{j=1}^{N_{HB}} x_{2j}; \\ \left(\sum_{i=1}^{N_B} x_{2i}y_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} x_{2j}y_{2j}\right)\cdot x_2 + \left(\sum_{i=1}^{N_B} y_{2i}^2 + \sum_{j=1}^{N_{HB}} y_{2j}^2\right)\cdot y_2 + \left(\sum_{i=1}^{N_B} y_{2i}z_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} y_{2j}z_{2j}\right)\cdot z_2 = \sum_{i=1}^{N_B} y_{2i} - \sum_{j=1}^{N_{HB}} y_{2j}; \\ \left(\sum_{i=1}^{N_B} x_{2i}z_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} x_{2j}z_{2j}\right)\cdot x_2 + \left(\sum_{i=1}^{N_B} y_{2i}z_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} y_{2j}z_{2j}\right)\cdot y_2 + \left(\sum_{i=1}^{N_B} z_{2i}^2 + \sum_{j=1}^{N_{HB}} z_{2j}^2\right)\cdot z_2 = \sum_{i=1}^{N_B} z_{2i} - \sum_{j=1}^{N_{HB}} z_{2j}, \end{cases}$$

5. Отыскание оценки вектора направляющих косинусов фазового центра антенны из условия минимума целевой функции с учетом весовых коэффициентов ν_1 и ν_2.

$$\Phi(x_2, y_2, z_2) = \left(\sum_{i=1}^{N_B - N_{B.(ИСК)}}(x_{2i}x_2 + y_{2i}y_2 + z_{2i}z_2 - 1)^2 + \sum_{j=1}^{N_{HB} - N_{HB.(ИСК)}}\left(x_{2j}x_2 + y_{2j}y_2 + z_{2j}z_2 + 1\right)^2\right)\cdot\nu_1 +$$
$$\left(\sum_{k=1}^{N_{B.(ИСК)}}(x_{2k}x_2 + y_{2k}y_2 + z_{2k}z_2 - cos(\alpha))^2 + \sum_{l=1}^{H_{HB.(ИСК)}}(x_{2l}x_2 + y_{2l}y_2 + z_{2l}z_2 + cos(\alpha))^2\right)\cdot\nu_2 \quad (6)$$

где $cos(\alpha)$ является косинусом угла маски антенны НП, ν_1 и ν_2 – весовые коэффициенты, выполняемые условием$\nu_1 + \nu_2 = 1$;

Как было отмечено выше, для использования управляемой маски необходимо установить две антенны НС на одной оси в противоположных направлениях. Векторы направляющих косинусов фазовых центров антенн НС, расположенных на одной оси, соединены уравнением:

$$A_2^+(x_2, y_2, z_2) = -A_2^-(x_2, y_2, z_2) \quad (7)$$

где $A_2^+(x_2, y_2, z_2)$ – вектор фазового центра антенны НС (расположенного в положительном направлении по оси OX_1), $A_2^-(x_2, y_2, z_2)$ – вектор фазового центра антенны НС (расположенного в отрицательном направлении по оси OX_1).

Различие целевой функции (6) от описанного в работах [9] заключается в существовании регуляризирующего слагаемого, которое появляется в результате перехода НС из категории «видимый» в категорию «невидимый» из-за изменения ширины диаграммы направленности антенн.

Вектор фазового центра антенны НС в ОСК, то есть вектор $A_2^+(x_2, y_2, z_2)$ найден из минимума целевой функции (6) с последующей нормировкой найденного вектора. Минимизация целевой функции (6) сводится к решению системы линейных уравнений:

$$M \cdot A_2 = b,$$

где M – симметричная матрица размером 3×3 с элементами:

$$m_{11} = \sum_{i=1}^{N_B} x_{2i}^2 + \sum_{j=1}^{N_{HB}} x_{2j}^2 + \sum_{k=1}^{N_{B(ИСК)}} x_{2k}^2 + \sum_{l=1}^{N_{HB(ИСК)}} x_{2l}^2,$$
$$m_{22} = \sum_{i=1}^{N_B} y_{2i}^2 + \sum_{j=1}^{N_{HB}} y_{2j}^2 + \sum_{k=1}^{N_{B(ИСК)}} y_{2k}^2 + \sum_{l=1}^{N_{HB(ИСК)}} y_{2l}^2,$$
$$m_{33} = \sum_{i=1}^{N_B} z_{2i}^2 + \sum_{j=1}^{N_{HB}} z_{2j}^2 + \sum_{k=1}^{N_{B(ИСК)}} z_{2k}^2 + \sum_{l=1}^{N_{HB(ИСК)}} z_{2l}^2,$$
$$m_{12} = \sum_{i=1}^{N_B} x_{2i}\cdot y_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} x_{2j}\cdot y_{2j} + \sum_{k=1}^{N_{B(ИСК)}} x_{2j}\cdot y_{2j} + \sum_{l=1}^{N_{HB(ИСК)}} x_{2j}\cdot y_{2j},$$
$$m_{13} = \sum_{i=1}^{N_B} x_{2i}\cdot z_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} x_{2j}\cdot z_{2j} + \sum_{k=1}^{N_{B(ИСК)}} x_{2j}\cdot z_{2j} + \sum_{l=1}^{N_{HB(ИСК)}} x_{2j}\cdot z_{2j},$$
$$m_{23} = \sum_{i=1}^{N_B} y_{2i}\cdot z_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} y_{2j}\cdot z_{2j} + \sum_{k=1}^{N_{B(ИСК)}} y_{2k}\cdot z_{2k} + \sum_{l=1}^{N_{HB(ИСК)}} y_{2l}\cdot z_{2l},$$

Элементы вектора b:

$$b_1 = \sum_{i=1}^{N_B} x_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} x_{2j} + \sum_{k=1}^{N_{B(ИСК)}} x_{2k}\cdot cos(\alpha) - \sum_{l=1}^{N_{HB(ИСК)}} x_{2l}\cdot cos(\alpha),$$
$$b_2 = \sum_{i=1}^{N_B} y_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} y_{2j} + \sum_{k=1}^{N_{B(ИСК)}} y_{2k}\cdot cos(\alpha) - \sum_{l=1}^{N_{HB(ИСК)}} y_{2l}\cdot cos(\alpha),$$
$$b_3 = \sum_{i=1}^{N_B} z_{2i} + \sum_{j=1}^{N_{HB}} z_{2j} + \sum_{k=1}^{N_{B(ИСК)}} z_{2k}\cdot cos(\alpha) - \sum_{l=1}^{N_{HB(ИСК)}} z_{2l}\cdot cos(\alpha).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации [Текст]/О. А. Степанов//Сборник статей и докладов. - СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2001. - 235 с.

2. Константинов, М. С. Механика космического полета [текст] / Константинов, М. С., Е. Ф. Каменков, Б. П. Перелыгин, В. К. Безвербый. – Под ред. Мишина В. П.. М.: Машиностроение, 1989. – С. 190-192.

3. Juergen Mueller, Richard Hofer, Morgan Parker, and John Ziemer. (Eds.).Survey of propulsion options for cubesats. / California Institute of Technology Pasadena, CA.2010.

4. Охоцимский, Д. Е., Основы механики космического полета [текст]: / Учеб. Пособие / Охоцимский, Д. Е., Сихарулидзе Ю.Г. – М.: Наука. Гл. ред. Физ-мат. лит., 1990. – С. 365-366.

5. Крамлих, А. В. Адаптивный алгоритм определения ориентации низковысотных космических аппаратов на основе обработки одномоментных разнотипных измерений [Текст] / А. В. Крамлих, М. Е. Григорьева// Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. - 2012. -№ 4 (35). -С. 69-75.

6. Крамлих, А. В. Алгоритмы определения ориентации низковысотных космических аппаратов на основе комплекси-рования спутниковых радионавигационных и магнитометрических измерений [Текст]: дисс.

канд. тех. наук: 05.07.09: защищена 24.10.08: утв. 02.03.09/Крамлих Андрей Васильевич. – С., 2008. – 160 с.

7. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ (третья редакция). - М.: КНИЦ ВКС, 1995.

8. Global Positioning System. Standard positioning service. Signal specification. 2-nd editions. June 2, 1995.

9. Torre, A. D., Attitude and Direction Sensor Using GPS Carrier Phase Data. / A. D. Torre, A. Caporali, N. Praticelli, C. Facchinetti // European Space Agency, (Special Publication) ESA SP, Issue 548, 2004, Pages 291-296, 18th International Symposium on Space Flight Dynamics; Munich; Germany; 2004.

10. Керимбай Н.Н., Базарбек А.Б., Омархан А.Ш., Керимбай Г.Н., Ергалиев Д.С. Использование систе-мы GEONETCast для мониторинга Земли. Надежность и качество. Труды международного симпозиума. г.Пенза, РФ – 22 -31 мая 2017 г., №2, С. 34-38.

11. Абдирашев О.К., Амиржан Е.К., Султанова С.С., Сардаров А.А. Разработка алгоритма оценки определения одноосной ориентации наноспутника. Надежность и качество. Труды международного симпозиума. г.Пенза, РФ – 21 -31 мая 2018 г., Т.2, С. 17-19.

УДК 621.396.

Ахмедов Б.М., Садуов Ж.Ж., Абдирашев О.К., Токумбеков А.А., Ергалиев Д.С.

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Республика Казахстан

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНООСНОЙ ОРИЕНТАЦИИ В СРЕДЕ MATLAB

Локальные методы определения ориентации являются преимущественными для решения задачи быстрого определения ориентации на борту наноспутника.

На большом количестве низковысотных наноспутников приемная антенна НП устанавливается на корпусе наноспутника, при этом его поверхность сильно ограничивает зону видимости навигационных спутников (НС). Можно сказать, что среди НС есть спутники, невидимые из-за конструкционных ограничений антенной установки НП. Это можно использовать для решения задачи определения ориентации, что ранее не исследовалось.

Ключевые слова:

НИЗКОВЫСОТНЫЙ НАНОСПУТНИК, СПУТНИКОВАЯ РАДИОНАВИГАЦИЯ, НАВИГАЦИОННЫЙ ПРИЕМНИК, ОДНООСНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ, ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ВИДИМОСТЬ

Введение

Применение интегральных методов определения ориентации не эффективно в случае действии на наноспутник сильных, не поддающихся точному учету, возмущающих моментов. Так же данный метод определения ориентации не применяется для решения задачи определения ориентации при использовании масштаба времени, близкого к реальному.

2. Локальные методы. На основе локальных методов одномоментного определения ориентации лежит использование измерений двух и более векторов в двух системах координат. Как измеряемые параметры при расчете углового положения наноспутника берутся параметры, выражающие в связанной с наноспутником системе координат отдельные направления, что известны априорно в базовой (абсолютной, орбитальной или в другой удобной) системе координат. Если на наноспутник параллельно определяется несколько направлений, то число измеряемых функций будет достаточным для расчета матрицы ориентации в каждый отдельный момент времени получения измерений [2].

В работе рассматривается задача определения ориентации оси КА (определение двух углов ориентации при наличии одной антенны) по анализу пространственного положения видимых/невидимых навигационных спутников СРНС ГЛОНАСС/GPS. Был построен алгоритм решения задачи определения одноосной ориентации по анализу геометрической видимости с использованием изменяемой ширины диаграммы направленности антенны наноспутника. Был реализован алгоритм оценки определения одноосной ориентации наноспутника в среде Matlab.

Основная часть

Были разработаны два алгоритма оценки определения одноосной ориентации наноспутника. Блок-схема первого алгоритма показана на рисунке 2. Входными данными для осуществления алгоритма являются эфемеридные данные о положениях НС и наноспутника. Следующим шагом является пересчет координат НС из геоцентрической системы координат в орбитальную систему координат. Для упрощения расчетов в алгоритме координаты НС в ОСК были нормированы (условие нормировки $x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 = 1$). Из условия затенения Землей ($z_{2k} < 0$ и $|z_{2k}| > cos\left(arcsin\left(\frac{R_э}{R_э+h}\right)\right)$, $k = \begin{cases} 1, N_{Глонасс} \\ 1, N_{GPS} \end{cases}$), были исключены невидимые НС. С использованием целевой функции были найдены направляющие косинусы ФЦА.

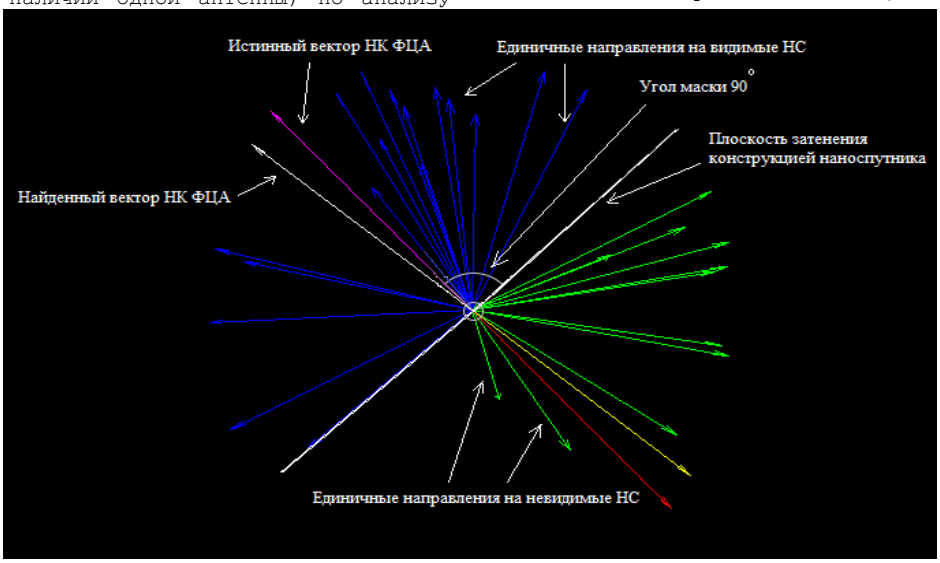


Рисунок 1 – Реализация алгоритма оценки определения ориентации наноспутника с использованием целевой функции при угле маски антенны навигационного приемника 90°

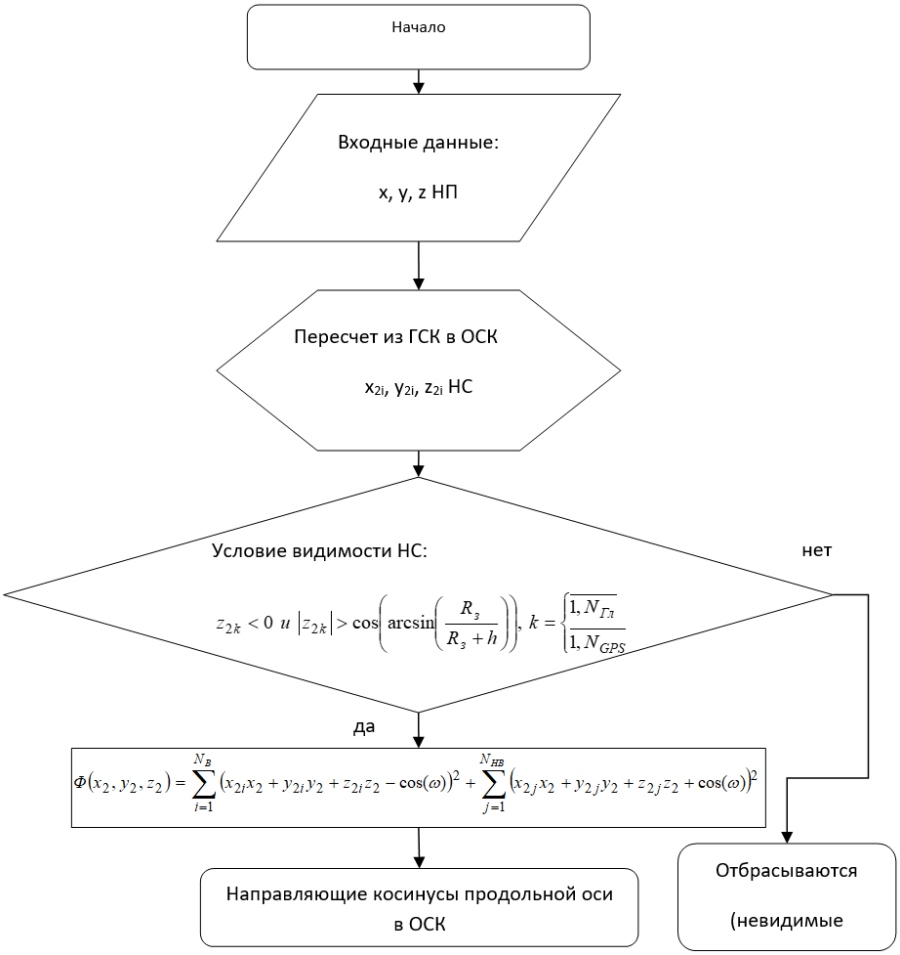


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма оценки определения одноосной ориентации наноспутника с использованием целевой функции

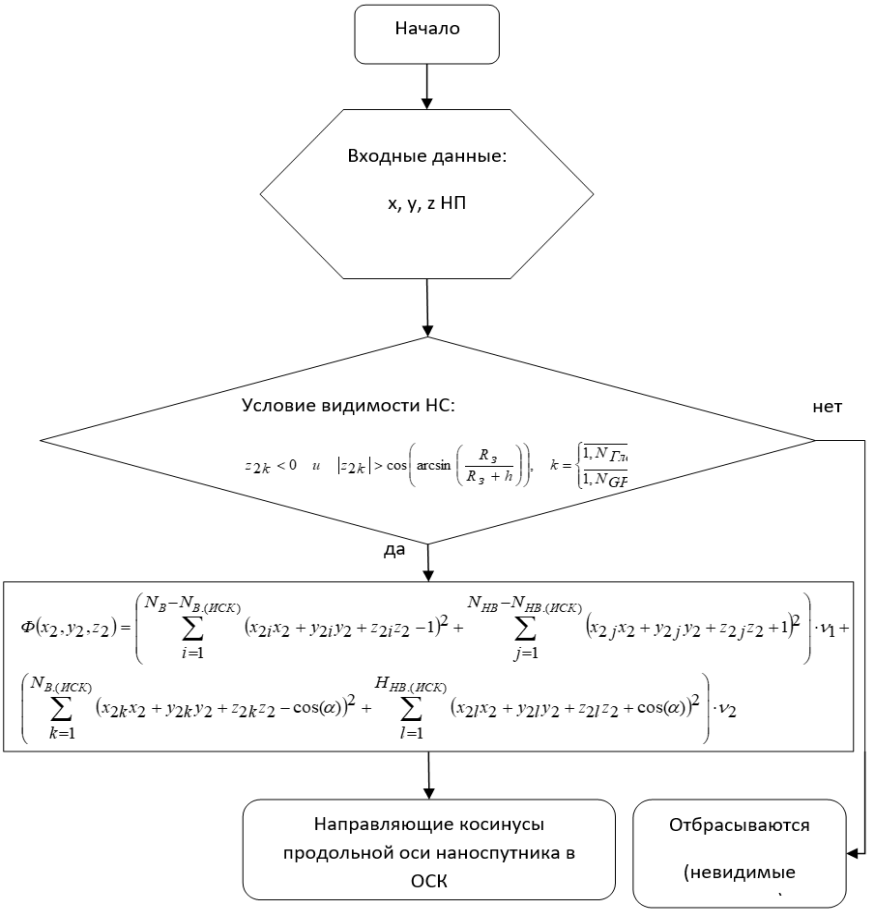


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма оценки одноосной ориентации наноспутника с использованием модифицированной целевой функции

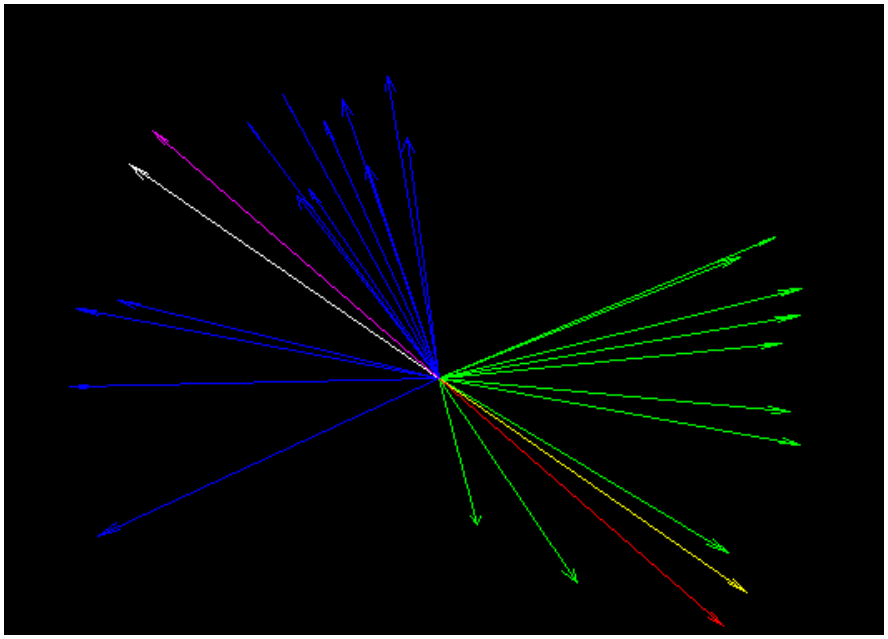


Рисунок 4 – Реализация алгоритма оценки определения ориентации наноспутника с использованием целевой функции при угле маски антенны навигационного приемника 60°

Два алгоритма были реализованы в среде Matlab. Программный код первого и второго алгоритма представлены в приложениях А и Б, соответственно.

На рисунке 1 показаны истинный и найденный векторы НК ФЦА с использованием целевой функции при угле маски антенны навигационного приемника 90°.

Блок-схема второго алгоритма показана на рисунке 3 Второй алгоритм отличается от первого в используемой функции оценки определения одноосной ориентации. В модифицированной целевой функции используются весовые коэффициенты. ν_1 используется для видимых НС, ν_2 используется для НС, затененных конструкцией наноспутника.

На рисунке 4 показаны истинный и найденный векторы НК ФЦА с использованием целевой функции при угле маски антенны навигационного приемника 60°.

В данной работе учитывались 2 навигационных спутников и были приведены их координаты в геоцентрической системе координат. В таблице 1 приведены номера и координаты двенадцати навигационных спутников незатенённых Землей.

Номера и координаты незатенённых Землей НС Таблица 1

Номера видимых спутников	X	Y	Z
7	19762.2171	3203.1864	-17300.8816
9	22640.4866	-12935.4153	1115.6155
21	17059.3922	-17013.0726	-9942.7563
27	24105.2080	-4906.7818	-11458.0700
103	4208.2533	-13801.6585	-21034.8721
105	8071.4608	5619.3763	-23535.8545
106	556.8396	1989.4992	-25424.3052
107	18322.7253	-15784.2359	8111.5974
108	24360.0150	-6478.2552	3909.4883
116	18247.1313	-11045.2080	-13989.4964
118	13277.6876	-13443.8757	17135.2135
121	20995.8540	-14402.5602	-1547.2871

В таблице 2 приведены номера и координаты семнадцати навигационных спутников затенённых Землёй.

Номера и координаты НС затенённых Землей Таблица 2

Номера невидимых спутников	X	Y	Z
3	3641.8008	-25418.8582	7838.6582
4	-24479.6803	8518.9493	-5043.0587
5	-10070.3133	-19314.9773	-15256.6090
10	-5735.9077	-19108.6951	-17619.3175
12	-5608.0808	-18471.6363	18112.1699
14	-5259.1034	-23506.1770	11573.4947
19	-10904.0898	-16001.5558	-18467.1253
20	-13971.4022	-18761.4059	-12402.4223
23	-7842.9922	-21965.3886	12995.5801
29	7269.6545	-24428.6831	7246.2078
30	-24927.4450	-7588.3454	-6433.3208
104	-16140.8587	8707.2609	-17729.0713
111	-11538.5833	-19605.8152	-11538.3730
112	-3577.5979	-17731.6385	-17984.4208
113	-21589.2719	-7821.5492	11108.2397
122	-25036.6379	-1923.1134	4484.6194
123	-9708.1617	-15702.2975	17602.4960

При изменений угла маски от 90 градусов до 60 градусов исчезают 11(4 видимых, 7 невидимых) НС. В таблице 3 представлены номера исчезающих НС в зависимости от значения угла маски антенны навигационного приемника.

Номера исчезающих НС в зависимости от значения угла маски антенны навигационного приемника Таблица 3

Угол маски(от 90 градусов до 60) при которых исчезают некоторые НС	Номера исчезающих НС
81	29, 104
78	118
76	103, 112
72	3
69	10
66	105
61	19
60	4

Были проведены сравнения двух алгоритмов при различных значениях угла макси антенны навигационного приемника и весовых коэффициентов. Таким образом, было проведено исследование погрешности алгоритма оценки одноосной ориентации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, Д.С. Исследование алгоритмов определения ориентации для микроспутников серии 'ТаблетСат' [Текст]/ Д.С.Иванов, Н.А.Ивлев, С.О.Карпенко, М.Ю Овчинников//Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша.2014.№64.24с.URL:http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2014-64

2. Kalman, R.E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems [Текст] //Trans. ASME, Ser. D, J. Basic Eng. 1960. V. 82. P. 35–45.

3. Kalman, R.E. New Results in Linear Filtering and PredictionTheory [Текст]/ R.E.Kalman, R.S.Bucy // Trans. ASME, Ser. D, J. Basic Eng. 1961. V. 83. P. 95–108.

4. Зотов, Л.В. Теория фильтрации и обработка временных рядов.[Текст]//Курслекций. М.: Физический факультет МГУ, 2010.

5. Дегтярёв, А.А. Элементы теории адаптивного расширенного фильтра Калмана [Текст]/А.А.Дегтярёв, Ш.Тайль // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2003. № 26. 35 с.URL: http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2003-26

6. Wertz, J.R. Spacecraft Attitude Determination and Control [Текст]// Dordrecht/Boston, London: Acad. press, 1990.

7. Анцифиров, С.А. Возмущающий момент в поплавковом маятниковом акселерометре на вибрирующем основании при несимметричном истечении жидкости в торцы [Текст]/С.А. Анцифиров, Д.В. Кондратов, Л. И. Могилевич//Изв. РАН. Механика твердого тела. – 2006. – №3. – С. 16-29.

8. Распопов, В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем [Текст]/В.В. Матвеев, В.Я. Распопов. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор», 2009. – 290 с.

9. Фоминов, И. В. Обобщенная структура адаптивного информационно-измерительного комплекса подвижного объекта [Текст]/И.В. Фоминов // Известия вузов. Приборостроение. 2013. №7. Т. 56. С. 5-9.

10. Красильщиков, М. Н. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов [Текст]/М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 556 с. - ISBN 978-5-9221-1168-3.

11. Вавилова, Н.Б. Математические модели и алгоритмы обработки измерений спутниковой навигационной системы GPS. [Текст]/Н.Б.Вавилова, А.А.Голован, Н.А.Парусников, С.А.Трубников//Стандартный режим. М.: Изд-во МГУ, 2009.-128 с. Wertz, J.R. Spacecraft Attitude Determination and Control. Dordrecht [Текст]/J.R. Wertz/ – The Netherland, 1978.

12. Zhakupova A., Yessenov A., Autalipova B., Bimyrzayev A., Yergaliyev D.S. Research of antenna systems for remote sensing of the earth with the help of a hexapod stand. Надежность и качество. Труды международного симпозиума. г.Пенза, РФ – 21 -31 мая 2018 г., Т.2, С. 12-15

13. Шагдаров О.Е., Онласкан С.В., Сейткожина А.С., Султанова С.С., Ануар Г.А., Ергалиев Д.С. Моделирование системы управления летательным аппаратом. Надежность и качество. Труды международного симпозиума. г.Пенза, РФ – 27 мая -1 июня 2019 г., Т.1, С. 124-125.

УДК 621. 396. 6

Ибрагимов[1] Б.Г., Мехтиева[2] А.М., Бахтияров[3] И.Н.

[1]Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан

[2,3]Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ТРАКТОВ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА

Проанализированы методы повышения отказоустойчивости функционирования корпоративных мультисервисных сетей связи на базе инновационных технологий при оказании мультимедийных услуг. Предложен метод расчета отказоустойчивости функционирования системы, учитывающий показатели надежности и живучести элементов аппаратно-программных комплексов в условиях различных информационных воздействий.

Ключевые слова:

КОРПОРАТИВНАЯ СЕТЬ, МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ, МУЛЬТИСЕРВИСНЫЙ ТРАФИК , QoS, ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ В СЕТЯХ СВЯЗИ

С развитием корпоративных мультисервисных сетей связи на базе инновационных SDN (Software Defined Networking), LTE (Long Time Evolution) и NFV (Network Functions Virtualization) технологий увеличивается объем передаваемых данных, что ведет к повышению требований со стороны пользователей к отказоустойчивости функционирова

ния трактов систем передачи, обработке и приему мультисеривсных трафиков и сборке пакетов, за которые отвечают системы и протоколы транспортного уровня.

Известно [1, 2], что корпорации корпоративных мультисервисных сетей и ведомства, работающие в самых различных сегментах коллективных учреждений, решают в основном одиноковые телекоммуникационные задачи – как основные, дополнительные так и интеллектуальные услуги. При этом операторы связи при помощи корпоративных мультисервисных сетей связи представляют частным абонентам такие услуги связи, как передача мультимедийного трафика (голоса, данные и видео) между различными абонентскими и сетевыми терминальными устройствами от обычных телефонных аппаратов до современных видеодомофонов. Тенденция увеличения количества терминальных и канальных устройств у одного пользователя требует повышения надежности, живучести и информационной безопасности корпоративных мультисервисных сетей связи в условиях различных информационных воздействий.

Проведенные исследования показали [1, 3], что одной из актуальных проблем, возникающих при разработке мультисервисных корпоративных сетей с использованием инновационных технологий является проблема обеспечения их отказоустойчивости функционирования, т.е. свойства корпоративных сетей сохранять работоспособное состояние на требуемом уровне при наличии аппаратно-программных комплексов в сети определенного множества отказавших узлов.

Основной целью функционирования корпоративных сетей с повышенной надежностью заключается своевременная доставка данных от функциональных узлов коммутации, осуществляющих сбор и передачу информации в определенных точках объекта, на коммутационную станцию с помощью системы передачи данных между транзитными узлами, размещаемыми в пределах компонентов корпоративной сети друг с другом.

Объектами исследования являются корпоративные мультисервисные сети, построен- ные на основе современных SDN, LTE и NFV технологий, и происходящие в них процесс-

сы преобразования мультисервисного трафика, связанные с её сохранением и передачей от источника до получателя. Эти технологии позволяют ускорить запуск новых мульти- медийных услуг и приложений, снизить общие экономические затраты в сети связи [1, 4].

В процессе работы корпоративных сетей возможны отказы ее коммутационных узлов, аппаратно-программных комплексов и арендованных каналов связи. Отказ узла коммутации сети - это нарушение его работоспособности, т.е. способности осуществлять сбор, обработку, прием и передачу мультимедийного трафика [1].

В качестве показателя отказоустойчивости функционирования корпоративных сетей примем вероятность безотказной работы аппаратно-программных комплексов в течение заданного времени t - $P_{ВБО}(t,\Lambda_{отk})$ и вероятность отказа сети $P_{ВО}(t)$, где $\Lambda_{от}$ —интенсивность отказа аппаратно-программных комплексов в сети.

С целью анализа вопросов отказоустойчивости функционирования, корпоративные сети связи рассматриваем как сложные системы, которым необходимо соблюдать требования следующих параметров:

$$P_{ВБО}(t_э,\Lambda_{отk}) \le P_{ВБР}^{треб.}(t,\Lambda_{отk}),$$
$$N_{бн}(\lambda) \ge L_{сдп}(\lambda),\ P_{ВО}(t) \le P_{ВО}^{треб}(t), \quad (1)$$

где $L_{сдп}(\lambda)-$ значение длины очереди пакетов с интенсивностью входящего потока пакета λ в буфере памяти объемом $N_{бн}(\lambda)$; $N_{бн}(\lambda)-$ емкость буферного накопителя с λ.

Выражение (1) характеризует на формальном уровне постановку задачи исследования показателей надежности и живучести элементов аппаратно-программных комплексов в условиях различных информационных воздействий.

Рассматриваемая задача исследования показателей отказоустойчивости, пропускных способностей системы и информационной безопасности в сети на базе технологий SDN, LTE и NFV при оказании мультимедийных услуг является наиболее актуальной.

Вопросам повышения отказоустойчивости мультисервисных телекоммуникационных

систем посвящено множество работ, в частности данные вопросы рассмотрены в работах [1, 3, 4]. Несмотря на значимость данных работ необходимо отметить, что в них не в достаточной степени представлены расчеты сравнительных характеристик различных методов повышения надежности и устойчивости, возможности их применения в мультисервисных сетях связи при оказании мультимедийных услуг.

В связи с этим существует необходимость в проведении исследования и анализа методов повышения отказоустойчивости функционирования мультисервисных корпоративных сетей связи на базе архитекутурных концепций следующих NGN (Next Generation Network) и будущих сетей FN (Future Networks) при оказании мультимедийных услуг с целью выявления оптимальных вариантов.

Целью данной работы является исследование и анализ методов повышения отказоустойчивости функционирования мультисервисных корпоративных сетей связи на базе технологий следующих NGN и будущих сетей *FN* за счет выявления эффективных методов обеспечения требуемого уровня надежности и живучести (Survivability) при минимальных стоимостных затратах аппаратно-программных комплексов.

Отказоустойчивость функционирования мультисервисных корпоративных сетей связи, использующая аппаратно-программные комплексы и арендованные каналы связи включает две важные составляющие:

- Единичные и комплексные показатели надежности корпоративной сети связи:

$$R_{Нф}(t,\Lambda_{отk}) = W[P_{ВБР}(t,\Lambda_{отk}),K_Г,P_{от}(t,\lambda)], \quad (2)$$

где $K_Г$—коэффициент готовности сети.

- Эффективные показатели живучести корпоративной сети связи:

$$G_{Sur}^{эф}(t,\lambda) = F[P_{бл}(\lambda),P_{ош},P(k)], \quad (3)$$

где $P_{бл}(\lambda)-$ вероятность блокировки потоков пакетов мультисервисного трафика; $P(k)-$ вероятность выживания k коммутационных станций, аппаратно-программных комплексов и арендованных каналов связи; $P_{ош}$—вероятность ошибки сообщений приема пакетов мультисервисного трафика, характеризующая качество передачи информации как в локальных, так и распределенных сетях связи, являющаяся достоверностью приема сообщения, скоростью передачи информации и задержкой передаваемых пакетов, которые зависят от действующих в каналах источника помех и применяемых алгоритмов защиты от ошибок.

Установлено в [5, с. 4-5], что живучесть корпоративной сети, это способность системы выполнять установленный объем своих функций как передачи, обработки так и приема трафиков при разрушающих воздействиях, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации и противостоять таким воздействиям. Критериями живучести корпоративной сети являются следующие эффективные показатели [5, с.82]:

- структурная живучесть- живучесть, выживаемость корпоративной сети связи в течение некоторого времени при пассивном противодействии случайным или целенаправленным повреждениям элементов аппаратно-программных комплексов;
- выживаемость элементов, это как структурная живучесть элементов-узлов коммутации, линий связи, арендованных каналов и терминальных устройств связи;
- структурная надежность- структурная живучесть корпоративных сетей связи при заданном процессе разрушения элементов аппаратно-программных комплексов;
- функциональная живучесть- живучесть или выживаемость корпоративных сетей связи в течение некоторого времени при активном противодействии случайным или целенаправленным повреждениям элементов аппаратно-программных комплексов.

Следует отметить, что наиболее результативными способами обеспечения живучести в корпоративных сетях связи являются методы повышения достоверности передачи сообщений пакетов трафика, организации мониторинга сети и методы резервирования.

Для исследования и анализа методов повышения отказоустойчивости функционирования корпоративных мультисервисных сетей связи на базе архитектурных концепций следующих NGN и будущих сетей FN при оказании мультимедийных услуг предлагаются методы расчета показателей надежности и живучести элементов аппаратно-программных комплексов в условиях различных информационных воздействий.

На формальном уровне математическая формулировка поставленной задачи исследования имеет следующий вид:

$$Q_{Оф}:\{t,\lambda\}\rightarrow\{\Lambda_{отк}\}\left|\begin{matrix}R_{Нф}(t,\Lambda_{отк})\geq R_{Нф}^{треб.}(t,\Lambda_{отк})\\ G_{Sur}^{эф.}(t,\lambda)\geq G_{Sur}^{эф.треб.}(t,\lambda)\end{matrix}\right. , \quad (4)$$

Выражение (4) описывает множество параметров надежности и живучести элементов аппаратно-программных комплексов сети, определяющее требуемые показатели QoS (Quality of Service). Кроме того, выражения (1), (2), (3) и (4) характеризуют сущность рассматриваемых задач, на основе которой предлагается метод расчета для оценки показателей отказоустойчивости функционирования корпоративных мультисервисных сетей связи в условиях различных информационных воздействий.

Таким образом, в результате исследования предложен метод расчета отказоустойчивости, учитывающий показатели надежности и живучести корпоративных мультисервисных сетей связи. В данной работе обоснован выбор критериев оценивания отказоустойчивости функционирования корпоративных мультисервисных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ибрагимов Б.Г., Гусейнов Ф.И., Исаев Я.С. Исследования отказоустойчивости мультисервисных сетей связи на базе концепций будущих сетей с использованием современных телекоммуникационных технологий//Труды Международного Симпозиума «Надежность и Качество», Т.1. Пенза, ПГУ. 2019. – С.27-28.

2. Поршнев С. В., Будылдина Н. В., Стойчин К. Л., Шабров А. В. Об оценке эффективности функционирования корпоративных компьютерных сетей//Надежность и качество сложных систем. № 3 (23), 2018. – С. 59-64.

3. Zhang-Shen R., McKeown N. Designing a fault-tolerant network using valiant load-balancing // Conf. publ. the 27th conf. on computer communications. S. l.: IEEE INFOCOM. 2008. P. 2360-2368.

4. Мехтиева А.М., Бахтияров И.Н. Анализ показатели надежности мультисервисных корпоративных сетей на базе SDN технологий// Труды Международного симпозиума Надежность и качество. Пенза 2019. Т. 2. С. 114-116.

5. Величко В. В., Попков Г. В., Попков В. К. Модели и методы повышения живучести современных систем связи. – М.: Горячая линия–Телеком, 2016. – 270 С.

УДК 621. 396. 6

Мамедов[1] Г.А., Ибрагимов[2] Б.Г., Алиева[3] А.М., Намазов[1] М.

[1]Бакинский инженерный университет, Баку, Азербайджан.

[2]Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан.

[3]Мингечаурский государственный университет, Мингечавир, Азербайджан.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ. СИСТЕМА СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕЙ

Проведен анализ показателей отказоустойчивости аппаратно-программных комплексов системы связи с использованием технологий построения распределенных сетей. Предложена математическая модель системы связи, учитывающая качественные и количественные показатели надежности и живучести сетей. Получены аналитические выражения для оценки вероятности выживания аппаратно-программных комплексов и вероятность блокировки пакета мультисервисного трафика.

Ключевые слова:

НАДЕЖНОСТЬ, СИСТЕМА СВЯЗИ, РЕЗЕРВИРОВАНИЕ, АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС, ВЕРОЯТНОСТЬ БЛОКИРОВКИ, ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ, ВЕРОЯТНОСТЬ ОТКАЗА, ЖИВУЧЕСТЬ,

Бурное развитие мультисервисных телекоммуникационных сетей на базе архитектурной концепции NGN и FN с использованием передовой технологии ИКТ требует изучение и анализ показателей отказоустойчивости систем связи. Современные системы связи являются объектами с достаточно сложной иерархической структурой, и оценка качества работы такой системы производится с применением достаточно большого количества показателей отказоустойчивости. Эти показатели определяют надежности функционирования (Survivability) сетей связи [1, с.12-13].

В настоящее время, среди используемых передовых технологий ИКТ особое место занимают как нанотехнолгии, технологии сложных энергетических систем, мобильных технологий, IoT (Internet of Think) так и технологии облачных вычислений. В то же время сложно представить себе дальнейшее развитие мультисервисных телекоммуникационных сетей на базе аппаратно-программных комплексов без повсеместного внедрения технологий построения распределенных сетей [2].

Следует отметить, что в системе связи использование технологий построения распределенных сетей ускоряет запуск новых телекоммуникационных услуг и приложений, уменьшает общие затраты на их внедрение, позволяет использование концепции SDN, NFV и IMS. Эта концепция применима к любому оборудованию аппаратно-программных комплексов систем связи, включая маршрутизаторы, мультиплексоры, контроллеры, межсетевые экраны, коммутаторы и др.

На основе исследования [2, 3, с.8-9] установлено, что с развитием технологий построения распределенных сетей увеличиваются аппаратно-программные комплексы систем связи, которые требуют повышения их отказоустойчивости и помехоустойчивости в условиях различных информационных воздействий. В связи с этим существует необходимость в проведении анализа методов повышения отказоустойчивости аппаратно-программных комплексов систем связи, с целью обнаружения эффективных вариантов. При оценке отказоустойчивости систем связи необходимо уделять особое внимание используемым при этом качественным и количественным параметрам и их значениям.

Вопросам исследования и анализа показателей отказоустойчивости систем связи с использованием телекоммуникационных технологий посвящено множество работ, в частности данные вопросы рассмотрены в работах [2, 4, с.21-24, 5].

В данной работе рассматриваются задачи исследования и анализа качественных и количественных показателей отказоустойчивости аппаратно-программных комплексов системы связи с использованием технологий построения распределенных сетей.

Рассмотрим математические модели систем связи [2], которые состоят из аппаратно-программных комплексов, учитывающих основные показатели надежности и живучести. Основными компонентами систем связи являются первичная и вторичная сети и состоят из следующих комплексов, которые описываются следующим с граф моделью:

$$G=[X,V,R],\ \ S_H=[k,r_{max} \quad (1)$$

где $X-$ множество вершин систем связи (коммутационные и базовые стации) и $X=\{x_1,\ldots,x_n\}$; V –множество ветвей систем связи (выделенные линии связи и каналы связи, соединяющие станции) и $V=\{v_1,\ldots,v_m\}$; R –множество ребер (арендованные и виртуальные каналы, по которым ведется передача данных) и $R=\{r_1,\ldots,r_k\}$.

Выражение (1) характеризует показатели сетей структурной надежности при использовании статического и динамического управления маршрутизацией трафиком, и определяется следующий параметром S_H, где k –число отказавших элементов аппаратно-программных комплексов, r_{max}- максимально возможная длина пути, вдоль которой проходит поток пакетов трафика [3, с.56].

Основным критерием отказоустойчивости в данной работе является поддержание качества передачи потоков пакетов по сети связи распределенной системы контроля и управления ресурсами на заданном уровне, которое зависит от сетевых параметров надежности и живучести аппаратно-программных комплексов в системе связи.

Установлено в работе [2, 5], что наиболее результативными методами обеспечения живучести в системах связи $G_{Sur}(t,\lambda)$ с использованием аппаратно-программных комплексов являются методы повышения достоверности передачи сообщений пакетов $D_n(\lambda)$ трафика, организация мониторинга сети M_c и различные способы $R_p(t)$ резервирования:

$$G_{Sur}(t,\lambda) = W[D_n(\lambda), M_c, R_p(t)], \quad (2)$$

Одним из важных критериев живучести в системах связи является выживаемость элементов, которая определяется показателем структурной живучести элементов аппаратно-программных комплексов.

Допустим, что вероятность выживания всех аппаратно-программных комплексов систем связи одинаковая и равна p. С учетом вероятности выживания k аппаратно-программных комплексов определяется биноминальным законом распределения:

$$P(k) = (1-p)^{N-k} \cdot p^k \cdot [\tfrac{N!}{k!(N-k)!}], \quad (3)$$

где N —общее количество аппаратно-программных комплексов систем связи.

Выражение (3) справедливо, если все аппаратно-программные комплексы систем связи кластера находятся в очаге поражения. Кроме показателей (2), одним из главных показателей для оценки критерия живучести аппаратно-программных комплексов систем связи является вероятность блокировки сообщений пакета P_B.

На основе кодировки Дж.Кендалле-Башарина эта модель как система массового обслу - живания является моделью общего типа $M/M/m/N_{бн} \leq \infty$ с помощью которой вероятность блокировки пакета мультисервисного трафика определяется следующим выражением [3, с. 150]:

$$P_B(m,k) = \frac{\rho^{mk}}{(mk)!}[\sum_{i=0}^{mk}(\rho^i/i!)]^{-1}, \quad (4)$$

где k - число отказавших элементов аппаратно-программных комплексов в системе связи;

ρ —коэффициент загрузки в системе связи и выражается следующим образом: $\rho = (\lambda/m \cdot \mu) \leq 1$, где μ —интенсивность обслуживания пакета трафика.

Выражение (4) представляет собой распределение Эрланга и является B —формулой Эрланга. Кроме того, выражение (5) получено в предположении пуассоновского процесса поступления потоков пакетов мультисервисного трафика и при наличии mk аппаратно-программных комплексов в системе связи.

Отметим, что в формуле (4) вероятность отказа обслуживания потоков пакетов остается в силе, даже если распределение вероятностей длительности обслуживания пакета произвольное $B(t) = P[B \leq t]$.

Учитывая формулы (3) и (4) интенсивности отказов обслуживания определяются следующим образом:

$$E(\rho) = \sum_{k=0}^{N} P(k) \cdot P_B(m,k) \quad , \quad k = \overline{0,N} \quad (5)$$

На основе (5) можно определить показатель живучести системы связи, который выражается как

$$G_{Sur}(t,\lambda) = 1 - E(\rho) = 1 - \sum_{k=0}^{N} P(k) \cdot P_B(m,k), \quad k = \overline{0,N} \quad (6)$$

Выражение (6) характеризует живучесть системы связи и определяется оценкой вероятности блокировки пакета мультисервисного трафика $E(\rho)$. Кроме того, из (6)

следует, что чем выше показатель живучести, тем меньше вероятность блокировки пакета трафика, следовательно, тем большее число потоков пакетов в единицу времени не блокируется при загруженном случае $\rho \leq 1$, тем более устойчивость аппаратно-программных комплексов в системе связи в условиях различных информационных воздействий.

Таким образом, для инженерных расчетов и анализа удобнее оперировать непосредственно с величиной $E(\rho)$, так как качество систем связи определяется, в первую очередь, не скоростью поступления обслуживания вызовов λ, а интенсивностью потерь пакетов при оказании мультимедийных услуг.

Учитывая определенные выше факторы, также проанализированы основные методы повышения отказоустойчивости аппаратно-программных комплексов в системе связи:ме- тоды резервирования, применение эффективных алгоритмов маршрутизации и баланси -

ровки нагрузки, определение приоритетов сетевых пакетов мультисервисного трафика.

Первый метод, как резервирование широко применяется в целях повышения надежности системы связи, при этом резервируются наиболее критичные к отказу элементы аппаратно-программных комплексов. При использовании резервирующих элементов, повышается вероятность того, что система готова к работе $P_{ГР}$. В предположении того, что в системе связи используется N элементов с номерами i=1, ...,Nпри вероятности готовности i-го элемента к работе $p_{i.ГР}$, вероятность $P_{ГР}$ определяется следующим образом:

$$P_{ГР} = 1 - \prod_{i=1}^{N}(1 - p_{i.ГР}) \quad , \quad i = \overline{1,N} \quad (7)$$

Таким образом, для исследования отказоустойчивости системы связи необходимо использовать методы, как структурного резервирования маршрутов передачи пакетов, распределенных алгоритмов маршрутизации так и динамической балансировки нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шувалов В.П., Егунов М.М., Минина Е.А. Обеспечение показателей надежности телекоммуникационных систем и сетей. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 168 с.

2. Ибрагимов Б.Г., Гасанов А.Г., Алиева А.А., Исаев А.М. Исследование показателей качества функционирования мультисервисных телекоммуникационных сетей на базе архитектурной концепции будущих сетей //Надежность и качество сложных систем. 2019. № 1 (25). – С. 88–95.

3. Величко В. В., Попков Г. В., Попков В. К. Модели и методы повышения живучести современных систем связи. – М.: Горячая линия–Телеком, 2016. – 270 с.

4. Нетес В.А. Основы теории надежности. МТУСИ. - М.:2014. – 74 с.

5. Михайлов, В. С. Оценка вероятности безотказной работы по результатам испытаний, не давших отказы// Надежность и качество сложных систем. 2017. – № 2 (18). – С. 62–66.

6. Щеглов К. А., Щеглов А. Ю. Эксплуатационные характеристики риска нарушений безопасности информационной системы // Научно-технический вестник информационных технический, механики и оптики. 2014. № 1 (89). - С. 129-139.

7. *Салахова, А.Ш.* Организация и методика проведения дистанционных лабораторных работ по общепрофессиональным техническим дисциплинам А.Ш. Салахова, В.А. Козлов // Открытое образование. – 2014. – № 5. – С. 74-79.

8. *Юрков, Н.К.* Компьютерное моделирование и его роль в современном вузовском образовании/ Н.К. Юрков, А.Н. Якимов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т 2. – С. 373-374.

УДК 681.3

Трефилов П.А.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия

ХРАНЕНИЕ И ПОИСК СХОЖИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ТЕМПОРАЛЬНЫХ БАЗАХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЦЕПТИВНЫХ ХЭШ-СТРОК

Описаны принципы хранения в темпоральных базах данных графических снимков на примере изображений, полученных с использованием беспилотных летательных аппаратов. Показана актуальность направления, возможные варианты использования. Описана процедурная модель поиска подобных (схожих) изображений, полученных с беспилотного летательного аппарата и хранящихся в темпоральных базах данных. Рассмотрена область применения и возможности поиска в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Рассмотрено понятие перцептивного хэша, проанализированы алгоритмы перцептивного хэширования. Разработана структура темпоральной базы данных, описана программная часть модуля перцептивного хэширования на языке PHP. Показана зависимость расстояния Хэмминга для двух перцептивных хэш-строк от размерности квадрата обработки изображения.

Ключевые слова:
БАЗА ДАННЫХ, ТЕМПОРАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ, ПЕРЦЕПТИВНЫЙ ХЭШ

Основные проблемы использования беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в гражданских целях связаны с использованием воздушного пространства, выделением частотного диапазона для управления БЛА и передачи информации с борта на землю и наоборот и, наконец, с развитием рынка гражданских услуг, который находится в стадии становления. Из поставленных гражданским сектором рынка задач применения БЛА, в первую очередь, необходимо отметить такие, которые в ближайшее время могут стать востребованными. Это, в первую очередь, контрольные функции БЛА. С помощью беспилотных систем можно контролировать техническое состояние объектов, их безопасность и функционирование, притом, что контролируемые объекты могут находиться на большом удалении (протяженные объекты).

С точки зрения функций контроля и мониторинга объектов человеческой деятельности, область применения БЛА является очень обширной: от фотосъемки массовых мероприятий до проведения поисково-спасательных работ и военных разведывательных операций. По результатам полета БЛА производит фото-видеосъемку, которую необходимо хранить и обрабатывать. Для таких функций целесообразно использовать базы данных (БД). Наиболее распространенными на сегодняшний день являются реляционные БД (РБД) и объектно-реляционные БД (ОРБД).

Существенный недостаток традиционных РБД и реляционной модели в целом – невозможность оптимально организовать процессы хранения, поиска и извлечения темпоральных данных [3], т.е. данных, привязанных к определенному моменту времени. Данный недостаток решается с использованием темпоральных баз данных (ТБД), однако на сегодняшний день не существует полноценной ТБД – существуют лишь различные модули и плагины к популярным коммерческим или открытым (open source) СУБД. Все эти надстройки обладают рядом недостатков, в частности – при проектировании темпоральной структуры не существует какого-либо универсального метода, позволяющего спроектировать гибкую логическую структуру, применимую сразу к множеству предметных областей.

Темпоральная модель данных представлена как [1]

$$M = (DS^T, QL^T, C^T)$$

где DS – структуры данных, QL – язык запросов, C – ограничения целостности, T – темпоральная зависимость. Все существующие модели представления темпоральных данных классифицируются по следующим признакам:

1) По типу хранимого времени. Если отношение содержит только действительное время моделируемой реальности, то такое отношение называется историческим (historical). Если отношение содержит только транзакционное время – оно называется отношением возврата (rollback). Если отношение содержит обе метки времени – оно называется битемпоральным (bitemporal).

2) По типу нанесения временных меток (timestamping). Выделяют метки кортежей (tuple timestamping) и метки атрибутов (attribute timestamping).

3) По минимальной нормальной форме. Выделяют отношения на основе 1НФ и на основе Н1НФ. Как правило, Н1НФ соответствуют меткам атрибутов, а 1НФ – меткам кортежей.

4) По допустимому значению времени атрибутов. Различают однородные (homogeneous) и разнородные (heterogeneous). В однородных отношениях жизненный цикл атрибутов по времени должен быть одинаковым. К разнородным структурам таких требований не предъявляется.

5) По формату временной метки. Различают граничные точки (boundary points) и интервалы (interval). В случае с временными точками, метка времени содержит 2 значения – начала и конца интервала. В случае интервала метка времени представляется лишь одним значением.

Наиболее известными моделями являются модели Снодграсса, Йенсена-Снодграсса, Бен-Зви, Гадия, Тензеля [2]. На практике чаще всего применяются модели Снодграсса и Йенсена-Снодграсса [3, 4].

Рассмотрим пример разработки темпоральной схемы данных с использованием битемпоральной модели Йенсена-Снодграсса. Модель представлена как:

T = (AS, TS, AF, TF)

где AS – момент актуализации значения, TS – время записи факта в БД, AF – момент утраты актуальности, TF – время удаления факта из БД.

Для каждого факта указываются 4 темпоральные метки: время факта, время фактического добавления в БД, время фактической утраты актуальности факта, время удаления данных неактуальной информации из БД.

Таким образом, темпоральная база данных на сегодняшний день чаще всего представляется как темпоральная структура реляционной базы данных. Темпоральные (зависящие от времени) атрибуты образуют отдельные отношения, которые связываются с основными (нетемпоральными) данными. Рассмотрим процесс разработки темпоральной базы данных для информационной системы жизнеобеспечения города. Информационная система предназначена для мониторинга состояния коммуникаций города (канализация, теплоснабжение и т.д.) и представляет собой программируемый интерфейс (API), с помощью которого БЛА взаимодействует с ТБД – получает данные объектов, которые необходимо проверить и отмечает факт проверки и наличие аварийной ситуации. Определение аварийной ситуации происходит с помощью алгоритмов разпознавания и производится на стороне БЛА [7].

Структура темпоральной базы данных контроля состояния систем жизнеобеспечения города представлена на рис.1.

База данных имеет 3 таблицы:

1) Таблица checks содержит данные о проверках объектов системы жизнеобеспечения города беспилотным летательным аппаратом.

2) Таблица objects содержит данные проверяемых объектов – местоположение и тип объекта.

3) Таблица types содержит информацию о проверяемых типах объектов – водопровод, канализация, газ и т.д.

Таблица checks представлена следующими атрибутами:

- id – идентификатор (номер) произведенной проверки с помощью БЛА;
- obj_id – идентификатор проверенного объекта;
- AtS – время проверки объекта;
- AtE – время утраты актуальности информации о проверке (значение заполняется в момент проведения новой проверки текущего объекта);

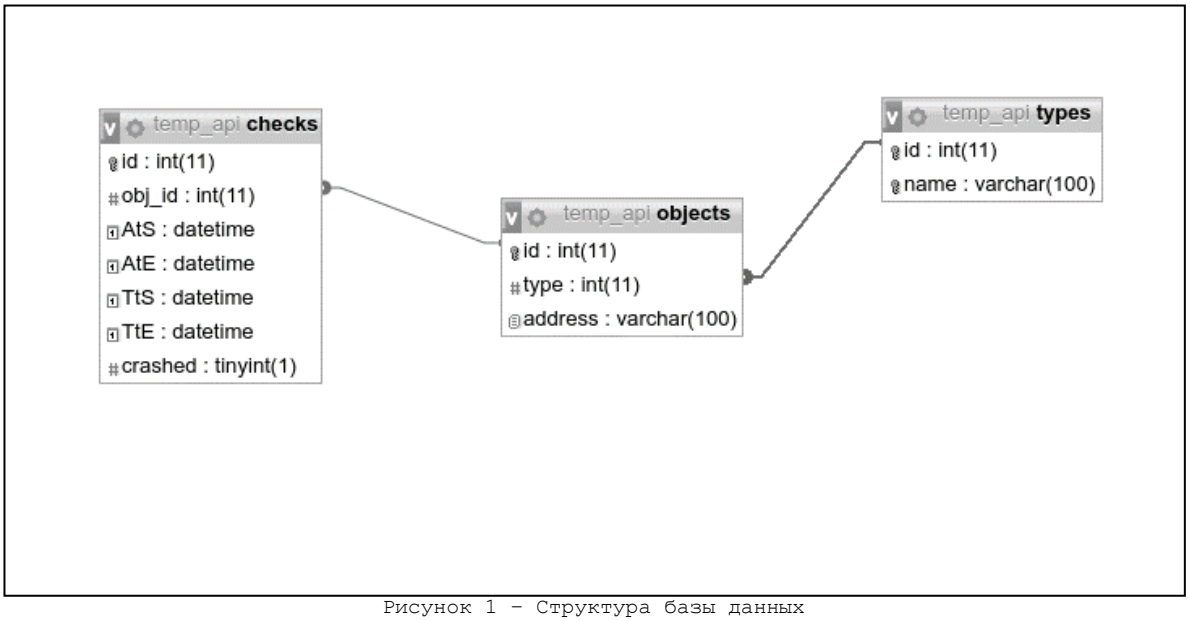


Рисунок 1 – Структура базы данных

- TtS – время записи информации о проверке объекта в базу данных;
- TtE – время утраты актуальности информации в БД (значение заполняется в момент проведения новой проверки, но, в отличие от значения атрибута AtE – это время фиксируется базой данных, а не устройством сбора информации).
- crashed – наличие аварийного состояния объекта (1 – есть авария, 0 – нет аварии).

Таблица objects представлена атрибутами:
- id – идентификатор объекта проверки;
- type – идентификатор типа проверяемого объекта;
- address – строковой адрес проверяемого объекта.

Таблица types представлена атрибутами:
- id – идентификатор типа объекта;
- name – строковое название типа объекта.

Ограничения внешнего ключа в базе данных представлены как:

CONSTRAINT `fk_objects_1` FOREIGN KEY (`type`) REFERENCES `types` (`id`) ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE

CONSTRAINT `fk_checks_1` FOREIGN KEY (`obj_id`) REFERENCES `objects` (`id`) ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE

Актуальной задачей является задача поиска подобных или сходных изображений с заданной точностью. Кроме того, необходимо произвести оптимизацию структуры базы данных и запросов с целью уменьшения сложности выполнения запроса, а, следовательно, уменьшения времени. Существуют различные способы нахождения схожих изображений, к которым относятся методы распознавания образов и кластерного анализа, однако практическая реализация этих методов требует серьезных вычислительных ресурсов. В качестве альтернативы этим методам предлагается использовать технологию перцептивного хэширования [5, 7].

Технология перцептивных хэшей получила широкое распространение в информационных системах. С их помощью производится биометрическая аутентификация, организованы процессы поиска информации по графическим изображениям. В частности, перцептивные хэши целесообразно использовать в аналитических информационных системах, хранящих нечеткие данные, которые могут быть представлены в графическом формате.

Перцептивные хэш-алгоритмы описывают класс функций для генерации сравнимых хэшей [9]. Характеристики изображения используются для генерации индивидуального (но не уникального) отпечатка, и эти отпечатки можно сравнивать друг с другом. Перцептивный хеш – это отпечаток мультимедийного файла, полученный из различных функций его содержимого. В отличие от криптографических хеш-функций, которые полагаются на лавинный эффект небольших изменений входных данных, приводящих к радикальным изменениям выходных данных, перцептивные хеш-функции «близки» друг к другу, если функции похожи.

Перцептивные хэши – это другая концепция по сравнению с криптографическими хэш-функциями вроде MD5 и SHA1. В криптографии каждый хэш является случайным. Данные, которые используются для генерации хэша, выполняют роль источника случайных чисел, так что одинаковые данные дадут одинаковый результат, а разные данные – разный результат. Из сравнения двух хэшей SHA1 на самом деле можно сделать только два вывода. Если хэши отличаются, значит, данные разные. Если хэши совпадают, то и данные, скорее всего, одинаковые (поскольку существует вероятность коллизий, то одинаковые хэши не гарантируют совпадения данных). В отличие от них, перцептивные хэши можно сравнивать между собой и делать вывод о степени различия двух наборов данных.

Существует 2 наиболее известных процедурных модели перцептивного хэширования: хэширование «по-среднему» и алгоритм pHash [8]. Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 2.

Рассмотрим алгоритм хэширования «по-среднему»:

1. Уменьшить размер. Самый быстрый способ избавиться от высоких частот – уменьшить изображение. Изображение уменьшается до 8x8 пикселей, так что общее число пикселей составляет 64. Соблюдение пропорций необязательно, т.е. исходное изображение может быть искажено. Таким образом, хэш будет соответствовать всем вариантам изображения, независимо от размера и соотношения сторон.

2. Убрать цвет. Маленькое изображение переводится в градации серого, так что хэш уменьшается втрое: с 64 пикселей (64 значения красного, 64 зелёного и 64 синего) всего до 64 значений цвета.

3. Найти среднее. Вычисляется среднее значение для всех 64 цветов.

4. Цепочка битов. Для каждого цвета устанавливается 1 или 0 в зависимости от того, больше он или меньше среднего.

5. Построить хэш. Переводятся 64 отдельных бита в одно 64-битное значение. Порядок не имеет значения, если он сохраняется постоянным.

В свою очередь, алгоритм pHash состоит из следующего набора действий:

1. Уменьшить размер. Как и в случае хэша по среднему, pHash работает на маленьком размере картинки. Однако, здесь изображение больше и составляет 32x32 пикселя. На самом деле это делается ради упрощения DCT (дискретного косинусного

преобразования), а не для устранения высоких частот.

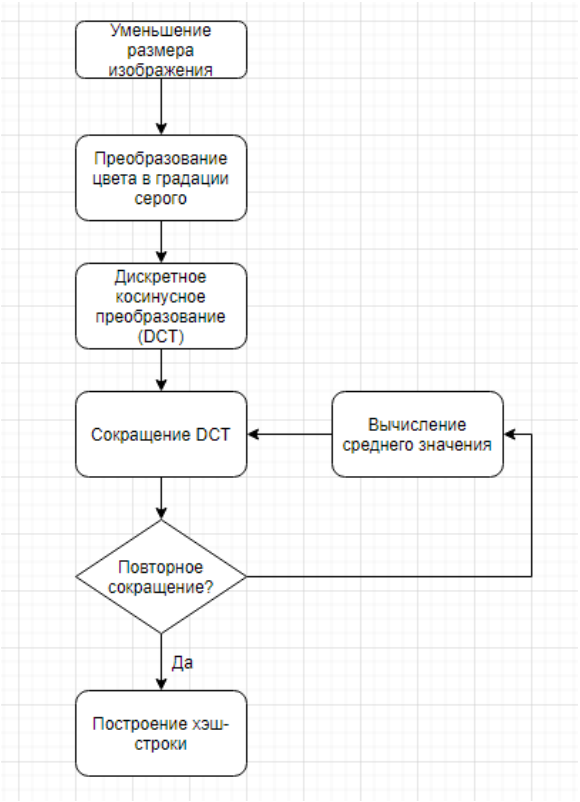


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма

2. Убрать цвет. Аналогично, цветовые каналы убирают, чтобы упростить дальнейшие вычисления.

3. Запустить дискретное косинусное преобразование. DCT разбивает картинку на набор частот и векторов. В то время как алгоритм JPEG производит DCT на блоках 8x8 пикселей, в данном алгоритме DCT работает на размере 32x32 пикселя.

4. Сократить DCT. В то время как первоначальный блок был 32x32 пикселя, сохраняется только левый верхний блок 8x8. В нём содержатся самые низкие частоты из картинки.

5. Вычислить среднее значение. Как и в хэше по среднему, здесь вычисляется среднее значение DCT, оно вычисляется на блоке 8x8 пикселя и нужно исключить из расчёта самый первый коэффициент, чтобы убрать из описания хэша пустую информацию, например, одинаковые цвета.

6. Ещё сократить DCT. Каждому из 64 DCT-значений присваивается 0 или 1 в зависимости от того, оно больше или меньше среднего. Такой вариант уже выдержит без проблем гамма-коррекцию или изменение гистограммы.

7. Построить хэш. 64 бита преобразуются в 64-битное значение, здесь тоже порядок не имеет значения. Чтобы посмотреть, на что похож отпечаток визуально, можно присвоить каждому пикселю значения +255 и -255, в зависимости от того, там 1 или 0, и преобразовать DCT 32x32 (с нулями для высоких частот) обратно в изображение 32x32.

Таким образом, метод получения хэш-строки по алгоритму pHash на языке PHP:

```
public function hash(Image $image)
{
$resized = $image->resize(static::SIZE, static::SIZE);
 // Get luma value (YCbCr) from RGB colors and calculate the DCT for each row.
 $matrix = [];
$row = [];
$rows = [];
$col = [];
for ($y = 0; $y < static::SIZE; $y++) {
for ($x = 0; $x < static::SIZE; $x++) {
$rgb = $resized->pickColor($x, $y);
 $row[$x] = floor(($rgb[0] * 0.299) + ($rgb[1] * 0.587) + ($rgb[2] * 0.114));
 }
$rows[$y] = $this->DCT1D($row);
 }
// Calculate the DCT for each column.
 for ($x = 0; $x < static::SIZE; $x++) {
 for ($y = 0; $y < static::SIZE; $y++) {
 $col[$y] = $rows[$y][$x];
 }
 $matrix[$x] = $this->DCT1D($col);
 }
 // Extract the top 8x8 pixels.
 $pixels = [];
 for ($y = 0; $y < 8; $y++) {
 for ($x = 0; $x < 8; $x++) {
 $pixels[] = $matrix[$y][$x];
 }
 }
 // Calculate the median.
 $median = $this->median($pixels);
// Calculate hash.
 $hash = 0;
 $one = 1;
 foreach ($pixels as $pixel) {
 if ($pixel > $median) {
 $hash |= $one;
 }
 $one = $one << 1;
 }
 return $hash;
 }
```

Для определения количественного показателя – расстояния между двумя изображениями используется расстояние Хэмминга, которое определяется как число отличающихся элементов в 2 векторах одинаковой размерности:

$$dH(xi, xj) = \sum_{k=1}^{p} |xik - xij|$$

Дальнейшим шагом является построение структуры ТБД. Примерная структура ТБД представлена на рис. 3. В приведенной схеме:

- *facts* – отношение, содержащее нетемпоральные факты о наблюдаемом объекте;
- *temporal_1*, *temporal_2*, *temporal_3* – темпоральные атрибуты данных, выделенные в отдельные отношения.

В темпоральных отношениях *temporal_1*, *temporal_2*, *temporal_3*:

- *A_S*, *T_S*, *A_E*, *T_E* – временные атрибуты модели Йенсена-Снодграсса, хранящие метки действительного и транзакционного времени;
- *value* – значение атрибута в заданный момент времени, в нашем примере – хэш-строка изображения;
- *image* – название файла-изображения.

Сохранив в качестве атрибута value значение хэш-строки хранимой картинки, становится возможным произвести поиск схожих изображений в ТБД. Для этого необходимо получить хэш-строку искомого изображения и составить SQL-запрос на поиск. Сравнение хэш-строк целесообразно выполнять с использованием встроенной функции BIT_COUNT, которая возвращает количество битов переданного аргумента. В качестве аргумента используется выражение:

Hash1 ^ Hash2,

где *Hash1* – перцептивный хэш входного изображения;

- *Hash2* – перцептивный хэш изображения, хранимого в БД;
- ^ - оператор побитового XOR.

Пример SQL-запроса, производящего выборку всех изображений, у которых расстояние Хемминга между хэшем и хэшем входного изображения меньше 5:

```
SELECT *, BIT_COUNT(hash1 ^ :hash2) as hamming_distance
FROM facts
JOIN temporal_1
ON (facts.temporal_fact_1 = temporal_1.id)
```

```
HAVING hamming_distance < 5
```

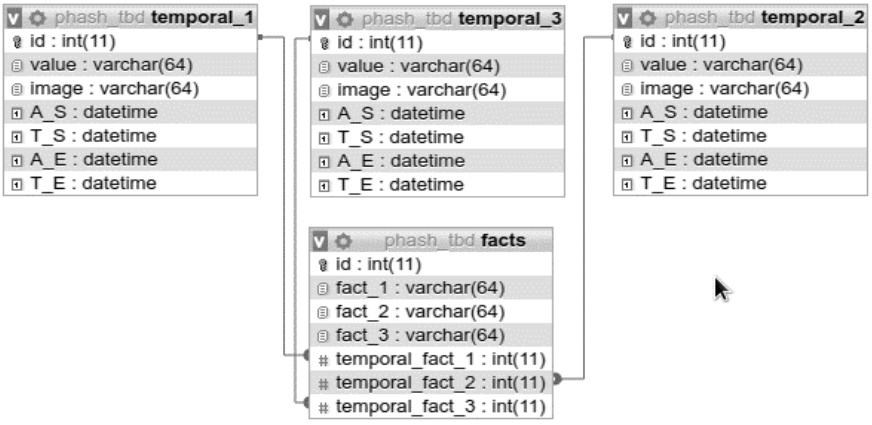


Рисунок 3 – Структура темпоральной базы данных

Рассмотрим зависимость расстояния между двумя хэш-строками от размерности квадрата в пикселях, до которого сжимается изображение согласно 1-му шагу алгоритма pHash. В качестве экспериментальных данных возьмем изображения, показанные на рисунках 4(а), 4(б), 4(в).

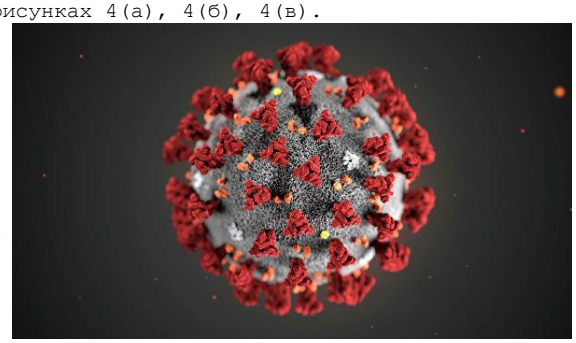


Рисунок 4(а) – Изображение №1

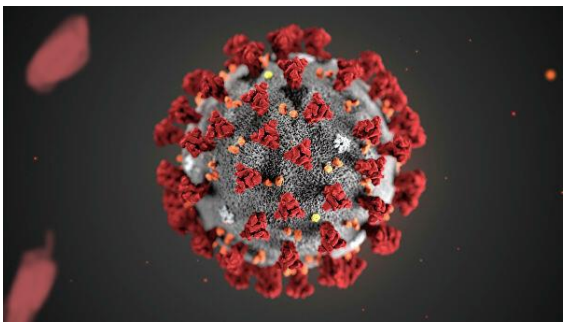


Рисунок 4(б) – Измененное изображение №1

Среди этих рисунков 4(а) и 4(в) – изображения, найденные в сети Интернет, а рисунок 4(б) это незначительно измененное в графическом редакторе изображение 4(а). Размеры квадратов в пикселях, до которых сжимается изображения принадлежат [16; 240] с шагом 16 пикселей. На рисунке 5 представлен график зависимости, где:

Тест 1 – расстояние между изображениями 4(а) и 4(б),

Тест 2 – расстояние между изображениями 4(а) и 4(в),

Тест 3 – расстояние между изображениями 4(б) и 4(в).

На основе экспериментальных данных можно сделать вывод, что незначительное изменение или искажение изображения не увеличивает значительно расстояние Хэмминга для исходного и измененного изображения. При этом для отличных изображений расстояние намного больше, что позволяет использовать технологию перцептивного хэширования для определения степени сходства изображений, хранящихся в базе данных.

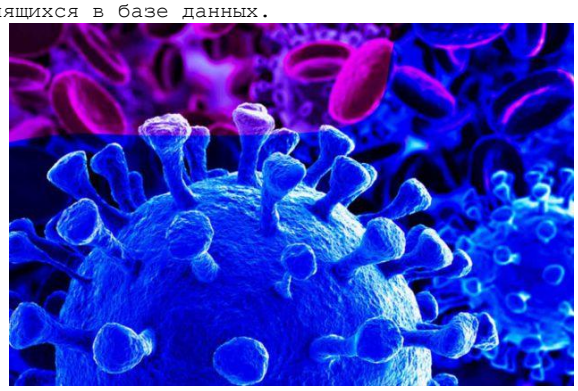


Рисунок 4(в) – Изображение №2

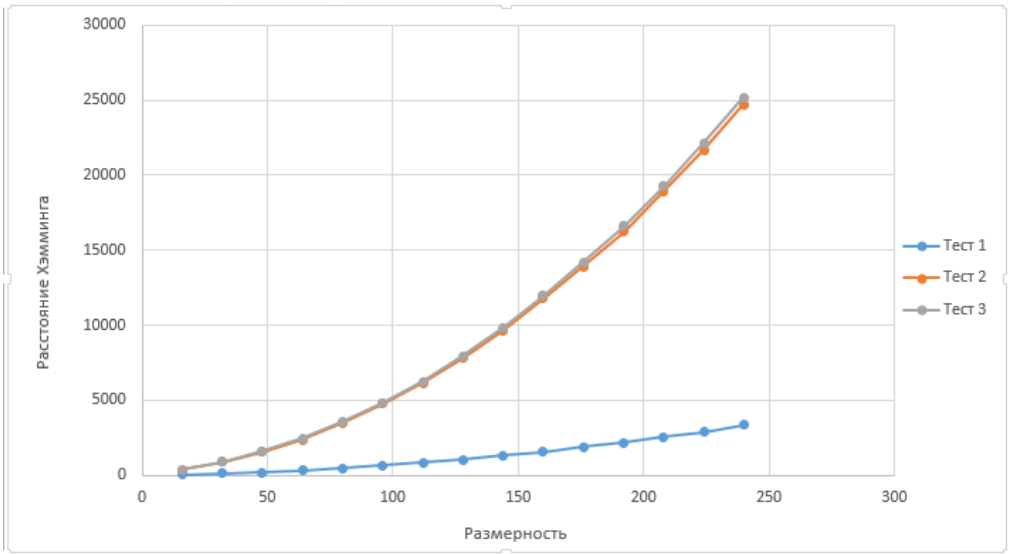


Рисунок 5 – Зависимость расстояния Хэмминга от размерности изображения

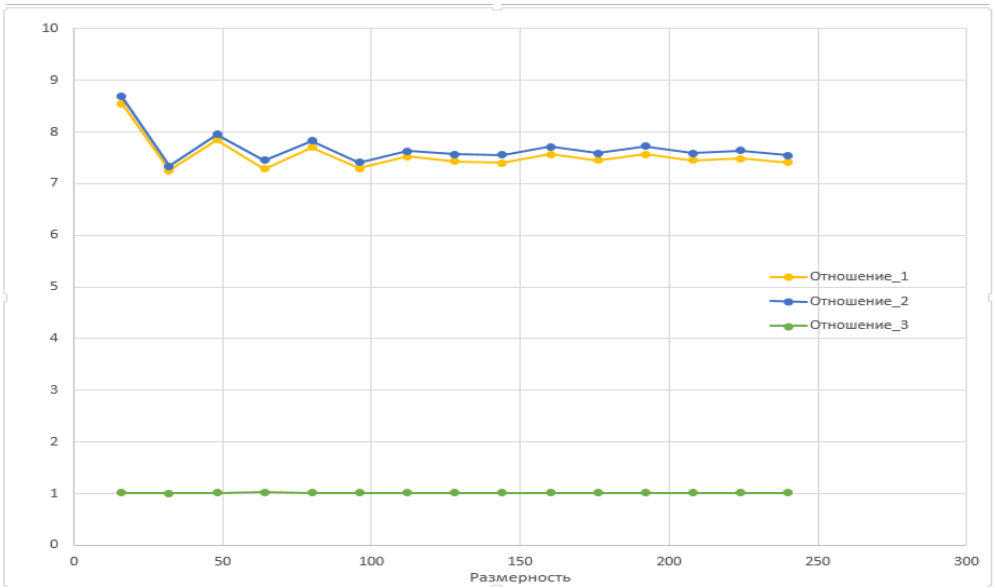


Рисунок 6 – Сравнение размерности квадратов

Сравним размерность квадрата для получения хэш-строки. Для этого возьмем данные графиков 4 (а – в) и найдем отношение расстояния Хэмминга к размерности квадрата. Затем полученные отношения сравним между собой, попарно разделив. Полученный результат показан на рис. 6.

График на рис. 6 показывает, что увеличение размерности квадрата снижает точность определения сходства изображений. Для отношений «Отношение_1» и «Отношение_2», которые являются сравнениями схожих между собой изображений с не схожим, оптимальной размерностью является 16 пикселей, поскольку данная размерность дает максимальное частное от деление отношения расстояния Хэмминга к размерности и требует меньших вычислительных затрат.

Таким образом, рассмотрены основные принципы получения количественной характеристики изображения – перцептивной хэш-строки и обработки ее с использованием темпоральной базы данных на основе реляционной модели. Показана зависимость точности определения сходства изображений от размерности обрабатываемого квадрата изображения.

Использование перцептивного хэша в качестве количественной характеристики растрового изображения, хранимого в ТБД, позволяет упростить процедуру поиска схожих картинок с точки зрения требований к вычислительной мощности оборудования, однако не обладает точностью, как методы распознавания изображений, которые предполагают использование нейронных сетей и машинного обучения. Однако в условиях ограниченных ресурсов такой способ позволяет существенно ускорить работу информационной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jensen C. S., Snodgrass R., Soo M. D. Extending Normal Forms to Temporal Relations. Technical Report TR-92-17. Department of Computer Science, University of Arizona, Tucson, AZ, 1992.

2. Трефилов П.А., Ивановский М.А., Шахов Н.Г., Елисеев А.И. / Анализ существующих моделей представления темпоральных данных // Информация и безопасность. 2017. Т. 20. № 4 (4). С. 598-603.

3. Jensen C. S., Soo M. D., Snodgrass R. T. 1994: Unifying Temporal Data Models Via Conceptual Model // Information Systems V. 19, №. 7. P. 513-547.

4. M. D. Soo, R. T. Snodgrass, and C. S. Jensen. Efficient Evaluation of the Valid-Time Natural Join. In Proceedings of the IEEE International Conference on Data Engineering, pp. 282–292, Houston, Texas, February 1994.

5. Модель анализа изображений на основе метода нечёткой кластеризации / Д.В. Лакомов, В.В. Алексеев, Ю.В. Минин, Ю.В. Кулаков, Г.Н. Нурутдинов // Информация и безопасность. – Воронеж. Издательство Воронежский государственный технический университет. – 2017. -№ 4. – С. 580-583

6. Ланкин О. В. Темпорально-реляционный подход к организации информационного обеспечения автоматизированных систем управления критического применения: Монография / О.В. Ланкин. - Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА Минэнерго России», 2013.- 246 с.

7. Как работает перцептивный хэш [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/post/120562/. Дата обращения: 20.03.2020

8. PHash – The open source perceptual hash library [Электронный ресурс]. URL: http://phash.org/download/. Дата обращения: 20.03.2020

9. Perceptual image hashes [Электронный ресурс]. URL: https://jenssegers.com/61/perceptual-image-hashes. Дата обращения: 24.03.2020

10. Zhu, G., Huang, J., Kwong, S. & Yang, J. (2010). Fragility analysis of adaptive quantization-based image hashing, IEEE Transactions on Information Forensics and Security 5: 133–147.

11. Azhar Hadmi, William Puech, Brahim Ait Es Said and Abdellah Ait Ouahman (2012). Perceptual Image Hashing, Watermarking - Volume 2, Dr. Mithun Das Gupta (Ed.), ISBN: 978-953-51-0619-7, InTech, Available from: http://www.intechopen.com/books/watermarking-volume-2/perceptual-image-hashing

12. Ланкин О. В. Темпорально-реляционный подход к организации информационного обеспечения автоматизированных систем управления критического применения: Монография / О.В. Ланкин. - Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА Минэнерго России», 2013.- 246 с.

13. Петухова Н.Ю. Темпоральные модели данных в информационных системах на железнодорожном транспорте: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Рига, 2010. 58 с.

14. Тоноян С.А., Сараев Д.В. Темпоральные модели базы данных и их свойства. Инженерный журнал: наука и инновации, 2014, вып. 12. URL: http://engjournal.ru/articles/1333/1333.pdf (Дата обращения: 10.04.2020)

15. Praveen Kumar Gupta, Rahul Rishi, Ranjit Biswas. A Comparative Analysis Of Temporal Data Models // International Journal of Advanced Computational Engineering and Networking, Vol-1, 2013, Oct

УДК 621.396.96

Аль-Араджи З.Х.М., Макаров О.Ю., Муратов А.В, Турецкий А.В., Худяков Ю.В.
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия

СПОСОБ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

В статье предложена методика, которая отличается от традиционных более коротким временем доработки конструкции, путем применения моделирования. Этот метод проектирования печатных плат, включает два этапа. Сначала проводится анализ вибрации многослойной печатной платы с установленными компонентами. Чтобы проверить точность моделирования, сравниваются результаты моделирования FEM с результатами экспериментальных испытаний для печатной платы. Сравнение экспериментальных и имитационных результатов показывает, что они хорошо совпадают. Анализ вибрации печатной платы выполняется методом FEM с использованием элемента «сосредоточенный вес», который заменяет фактическую геометрию компонента. Второй этап заключается в выборе оптимального типа закрепления для печатной платы, который обеспечивает минимальный эффект вибрации.

Ключевые слова:
МНОГОСЛОЙНАЯ ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА (МПП), ВИБРАЦИЯ, РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, КОНСТРУКЦИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, CREO

Введение.

Многослойная печатная плата стала неотъемлемым, одним из важнейших элементов современного электронного оборудования. Она выполняет сразу две важнейшие функции: электрическое соединение электронных компонентов и их механическое закрепление. Анализ надежности электронного оборудования, работающего в жестких эксплуатационных условиях, показывает, что многие неисправности возникают в электрических соединениях, расположенных на плате, из-за воздействия высокой частоты и вибрации. Исследования [1] показали, что большинство отказов электронных схем в электронном оборудовании имеют механический характер, и многие из этих механических отказов происходят во внутренних слоях и в паяных соединениях [2]. За последние годы большое количество испытаний оборудования показало, что определенные типы вибраций и ударов вызывают около 20 % отказов [3]. Когда внешняя рабочая частота печатной платы близка или равна ее собственной частоте, возникает резонанс, который приводит к следующим последствиям:

Электрические провода, паяные соединения и контакты разъема на печатной плате могут быть повреждены;

Компоненты, расположенные близко, мешают друг другу и вызывают короткое замыкание;

Происходит ослабление резьбового соединения печатной платы с корпусом.

Известно, что вибрационные характеристики многослойной ПП оказывают существенное влияние на надежность работы электронных компонентов на поверхности. В этой статье анализируются вибрационные характеристики многослойной ПП, а также влияние сосредоточенной массы на изменение резонансных частот и распределение смещений компонентов платы. Эти данные являются основой для анализа вибрационных характеристик печатных плат с электронными компонентами.

Модальный анализ печатных плат - это метод, используемый для определения собственных частот колебаний компоновки платы. Модальные параметры обеспечивают основу для анализа вибрации колебательной системы, диагностики и прогнозирования резонансных явлений, а также определения оптимальной компановки с приемлемыми динамическими характеристиками. Основными этапами модального анализа конечных элементов являются наложение граничных условий на конструкцию, моделирование и получение результатов с последующей обработкой [4].

Оценка собственной частоты.

При моделировании необходимо создать геометрическую модель платы, ввести соответствующие параметры материала (модуль упругости, коэффициент Пуассона, плотность) и выбрать подходящий размер конечного элемента для генерации сетки. Меньшая сетка может применяется к некоторым поверхностям, что повышает точность расчета, хотя и удлиняет процесс решения.

После установки геометрической модели определяются граничные условия для платы (закрепление и нагрузка). После всех этапов выбирается наиболее подходящий метод расчетов. Поскольку затухание колебаний мало влияет на результаты модального анализа печатной платы, затухание материала игнорируется. В следующих подразделах приведены подробности анализа.

В соответствии с изотропной моделью анализа эпоксидного стекловолокна, рассмотрена типичная структура печатной платы и ее характеристики приведены в таблице № 1.

Характеристики МПП Таблица № 1

Параметр	Значение
Размеры МПП.	(200×150×1.5) мм
Вес МПП	672 г
Модуль Юнга для МПП	21 ГПа
Коэффициент Пуассона	0.15

Основная часть.

Аналитическое решение. Формы колебаний МПП требуют анализа, для того чтобы определить влияние вибрации на всю конструкцию. Режимы вибрации - это особые модели колебательного движения. Существует в основном четыре типа закрепления печатной платы, как показано ниже:

Две короткие стороны зафиксированы: как показано на рис. 1, может быть рассчитана первая собственная частота ПП f_n из уравнения, полученного Дейвом С. Штейнбергом [1].

$$f_n = \frac{3.55}{a^2}\sqrt{\frac{D}{\rho}} \quad (1)$$

где:
a: длина PCB (мм).
D: коэффициент жесткости PCB (Н·мм).
ρ: масса на единицу площади (кг/мм2).
Коэффициент жесткости плиты D найдем из:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \quad (2)$$

где:
E: модуль упругости (Н/мм2).
h: толщина PCB (мм).
μ: коэффициент Пуассона.
б: ширина PCB (мм).

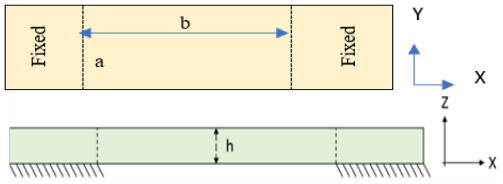


Рисунок 1 - Зафиксированы две стороны МПП

Собственная частота МПП оценивается теоретическими расчетами путем подставления уравнения (2) в уравнение (1) и составляет 133 Гц, что дает представление о динамике МПП на основе соответствующего анализа подсистемы.

Три стороны зафиксированы, самая короткая сторона остается свободной: первая собственная частота f_n МПП может быть рассчитана аналитически из уравнения Дейва С. Штейнберга [1].

$$f_n = \frac{\pi}{3}\left[\frac{D}{\rho}\left(\frac{0.75}{a^4} + \frac{2}{a^2b^2} + \frac{12}{b^4}\right)\right]^{1/2} \quad (3)$$

Собственная частота колебаний PCB оценивается теоретическими расчетами с использованием уравнений (2) и (3) и составляет 252 Гц.

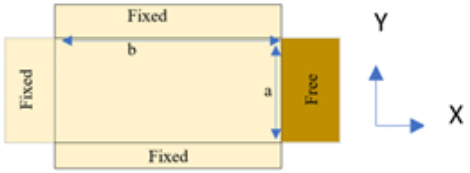


Рисунок 2 - Три стороны МПП зафиксированы

Все 4 стороны зафиксированы: первая собственная частота f_n ПП может быть рассчитана аналитически из уравнения Дейва С. Штейнберга [1]:

$$f_n = \frac{\pi}{1.5}\left[\frac{D}{\rho}\left(\frac{3}{a^4}+\frac{2}{a^2b^2}+\frac{3}{b^4}\right)\right]^{1/2} \quad (4)$$

Собственная частота колебаний ПП оценивается теоретическими расчетами с использованием уравнений (2) и (4) и составляет 305 Гц.

Две стороны (короткая и длинная) зафиксированы, две другие (короткая и длинная) поддерживаются: первая собственная частота f_n МПП может быть рассчитана аналитически из уравнения Дейва С. Штейнберга [1]:

$$f_n = \frac{\pi}{2}\left[\frac{D}{\rho}\left(\frac{2.45}{a^4}+\frac{2.68}{a^2b^2}+\frac{2.45}{b^4}\right)\right]^{1/2} \quad (5)$$

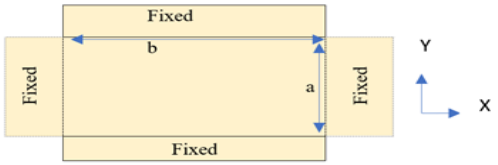


Рисунок 3 - Все четыре стороны платы зафиксированы

Собственная частота колебаний МПП оценивается теоретическими расчетами с использованием уравнений (2) и (5) и составляет 213 Гц.

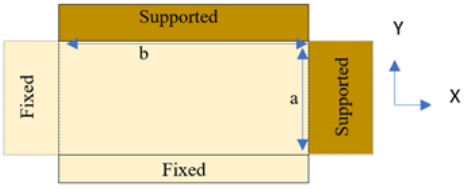


Рисунок 4 - Две стороны (короткая и длинная) зафиксированы, две другие (короткая и длинная) поддерживаются

Метод анализа конечных элементов. Предложенная аналитическая модель подтверждена сравнением результатов численного анализа с результатами модального анализа методом конечных элементов (МКЭ). Модальный анализ МКЭ выполняется программным обеспечением Creo Elements / Pro 5.0. Environment Необходимыми шагами конечно-элементного модального анализа являются: моделирование, задание ограничений и решение, получение результатов и постобработка [5-7].

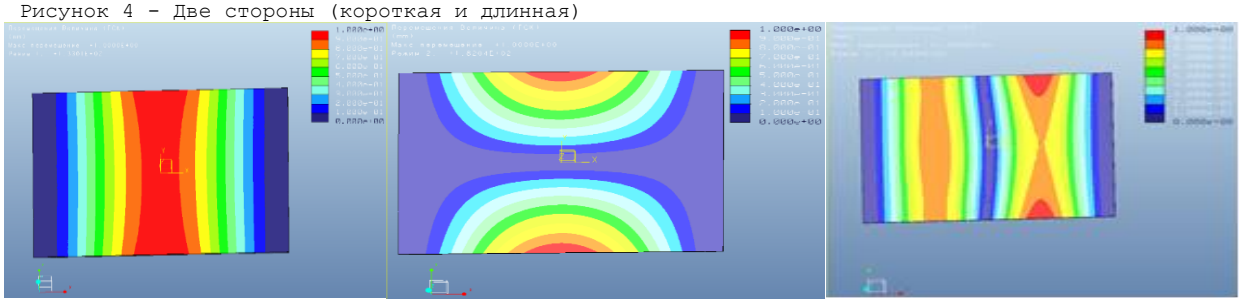
При моделировании необходимо установить геометрическую модель ПП, параметры которой указаны в таблице № 1. Для построения сетки необходимо выбрать подходящий конечный элемент. Затем, после создания геометрической модели, надо задать граничные условия конструкции и, наконец, выбрать наиболее подходящий метод расчетов.

Демпфирование материала игнорируется, поскольку оно мало влияет на результаты модального анализа. Затем для расчета конечных элементов используется программное обеспечение Creo, с помощью которого провоидится модальный анализ для получения первых трех собственных частот колебаний. Результаты моделирования показаны в таблице 2, частоты колебаний первых трех порядков показаны на Рис. 5.

Таблица №2

«Первые три собственные частоты колебания МПП с двумя зафиксированными короткими сторонами»

F_1 (Гц)	F_2 (Гц)	F_1 (Гц)
130 Гц	182 Гц	368 Гц



а) б) в)

Рисунок 5 - Результаты модульного анализа в CREO. Расчетные значения собственных частот колебаний стеклопластиковой ПП с 4 зафиксированными краями: (а) первая собственная частота, (б) вторая собственная частота, (в) третья собтсвенная частота

Влияние граничных условий на вибрационные характеристики печатных плат. Первую собственную частоту пластины рассчитывают путем подстановки данных в формулы (1,2,3,4) собственных частот ПП при различных граничных условиях, рассчитанных с помощью численного анализа и модального анализа CREO, полученных, как показано в таблице 3.

Собственные частоты ПП в различных граничных условиях Таблица №3

Тип фиксации	Численный метод. Первая собственная частота (Гц)	Результат моделирования (Гц)	% совпадения
Две короткие стороны зафиксированы.	133	130	2
Три стороны зафиксированы, одна коротка сторона свободная	252	237	6
Четыре стороны зафиксированы	313	304	3
Две стороны (короткая и длинная) зафиксированы, две другие (короткая и длинная) поддерживаются.	226	260	13

Таким образом, из таблицы 3 можно наблюдать погрешность, возникающую между собственной частотой первого порядка, полученной с помощью модального анализа CREO, и рассчитанной численным методом в различных случаях граничных условий.

В четвертом случае задания граничных условий наблюдается наибольший коэффициент ошибок. Таким образом, жесткая фиксация стороны печатной платы является более лучшим способом, чем просто поддерживаемая, так как могут наблюдаться вынужденные смещения в разных системах координат.

Результаты сравнения согласуются между собой, что позволяет сделать вывод о том, что результаты, полученный с помощью CREO заслуживают доверия. Можно заявить, что в данном случае установлена высокая достоверность, и данный метод можно с уверенностью использовать для дальнейшего анализа.

На аналитическом этапе работы авторы перемещали массу характеристик электронных компонентов печатной платы по многим позициям. Эта масса

была локализована в определенных местах, как показано в таблице № 4. В этой таблице приведены собственные частоты колебаний печатных плат массой 25 грамм в разных положениях. Одновременно плата жестко фиксируется по более коротким сторонам.

Процесс анализа показал, что собственные частоты МПП с концентрированной массой были меньше, чем собственные частоты МПП без концентрированной массы, и это зависит от положения концентрированной массы. Различные положения концентрированной массы МПП приводят к различию вибрационных характеристик плат. С другой стороны, локализация массы оказала существенное влияние на режимы колебаний печатной платы. Данный признак отличался в зависимости от расположения центра концентрированной массы на плате. Исходя из этого, можно сделать вывод, что необходимо уделять внимание расположению и весу электрических компонентов на ПП еще на этапе проектирования.

Собственные частоты колебаний МПП с сосредоточенной массой, расположенной в различных местах платы при условии: «2 короткие стороны зафиксированы» Таблица № 4

Расположение центра масс (центр платы в коорд. мм)	Первая частота собственных колебаний, ГЦ	Вторая частота собственных колебаний, ГЦ	Третья частота собственных колебаний, ГЦ
0	133	182	362
50	**116**	**182**	**276**
75	**102**	**182**	**276**
100	**97**	**182**	**286**
150	**100**	**182**	**318**
175	**117**	**182**	**318**
200	**133**	**182**	**318**

Заключение

Место расположения любого электрического компонента на многослойных печатных платах имеет важное значение при проектировании электрических и электронных приборов. Итак, в этой статье авторы использовали большое количество способов найти оптимальное положение электрических компонентов для уменьшения вибрационных эффектов. После анализа с использованием программ методом конечных элементов (CREO), они нашли наилучшее положение – это случай, когда плата закреплена с четырех сторон. Эта позиция насколько возможно снизила вибрацию на ПП.

Наличие тяжелых электронных компонентов на печатной плате обычно снижает частоту ее собственных колебаний, поэтому в процессе модального анализа это необходимо учитывать, добавляя к модели сосредоточенную массу.

Также, на этапе установки или сборки, необходимо заранее разработать метод крепления печатной платы.

Ввиду того, что МПП сделана из композиционного материала, необходимо учитывать, что свойства этого материала были как анизотропными, так и изотропными; следовательно, модель конечных элементов печатной платы должна строиться по этим свойствам.

Граничные условия МПП оказали значительное влияние на ее вибрационные характеристики. Таким образом, необходимо определить граничное условия на этапе моделирования с помощью программы конечных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. C. Zhang and C. Kan, “The Reverse Reconstruction and Finite Element Analysis of the UAV Impeller,” Int. J. Sci. Res., vol. 5, no. 3, pp. 595-597, 2016.

2. R. W. Little, Master’s Thesis, “Bending of a cantilever plate ,” University of Wisconsin, 1959.

3. Leissa A W. The vibration of rectangular plates[J]. Journal of Sound & Vibration, 1980, 31(3):257-293.

4. Макаров О.Ю., Турецкий А.В., Ципина Н.В., Шуваев В.А. Комплексное моделирование и оптимизация характеристик в процессе конструкторского проектирования радиоэлектронных средств Вестник Воронежского государственного технического университета. 2015. Т. 11. № 6. С. 100-104.

4. Аль-Араджи З.Х.М., Муратов А.В.,Турецкий А.В., Худяков Ю.В.Моделирование механических характеристик многослойных печатных плат средствами CAE анализа Труды международного симпозиума Надежность и качество. г. Пенза 2018. Т. 1. С. 224-227.

5. Лозовой И.А., Турецкий А.В. Методика анализа радиоэлектронных модулей на механическую прочность Радиотехника. 2013. № 3. С. 085-088.

6. Белецкая С.Ю., Иевлев П.В., Муратов А.В., Тураева Т.Л. Турецкий А.В. , Худяков Ю.В. Средства инженерного анализа конструкций радиоэлектронных модулей третьего уровня Труды международного симпозиума Надежность и качество. г. Пенза 2017. Т. 2. С. 82-85.

УДК 378.14

Вьюгина С.В., Вяткина И.В., Слепнева Е.В.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК СРЕДСТВО СТИМУЛИРОВАНИЯ САМООБРАЗОВАНИЯ

Актуальной данной темы обусловлено тем, что это одна из наиболее активно обсуждающихся в последние годы форм таких услуг – это обучение с использованием глобальной сети Internrt или дистанционное обучение (ДО). В статье представлено отличие дистанционного обучения от традиционного с точки зрения форм взаимодействия преподавателя и студента, а также последовательности изучения предметов и темпа работы. Отмечена ключевая проблема дистанционного обучения - аутентификация пользователя при проверке знаний и предложено решении ее. Рассмотрены особенности дистанционного образования с точки зрения коммуникаций «преподаватель - студент», определены ее характерные черты. Обозначены преимущества дистанционного обучения по сравнению с традиционным: доступность источников информации, индивидуализация обучения, удобная система консультирования и другие.

Ключевые слова:

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В настоящее время отмечается, что информатизация технического образования в высшей школе, формирование и внедрение электронной информационной образовательной среды (ЭИОС), разработка педагогических средств, создание систем дистанционного образования и обеспечения доступа к мировым информационным ресурсам является важным условием ее модернизации [1,2].

Дистанционное обучение – это такая форма организации учебного процесса и педагогическая технология, основой которой является управляемая самостоятельная работа студентов и широкое применение в обучении современных информационно-коммуникационных технологий. Современная дистанционное образование – это разветвленная система передачи знаний на расстоянии при помощи

различных средств и технологий, которая способствует получению студентами необходимой информации для использования в практической деятельности. Основной целью дистанционного обучения студентов является воспитание личности, имеющей желание и способность к общению, обучению и самообразования.

Дистанционное обучение получило широкое распространение во многих странах мира и с каждым годом его популярность стремительно растет. Например, в США и Канаде как альтернативу традиционному обучению созданы виртуальные университеты, где каждый студент может получить образование по выбранным дистанционными курсами на базе любого университета. В Европе создано открытые университеты дистанционного образования, то есть группа учебных заведений, которые реализуют дистанционные программы. Методики такого обучения предусматривают применение новых информационных технологий, включающие спутниковое телевидение, компьютерные сети, мультимедиа. В кругу ведущих учебных заведений мира, например, Национальном технологическом университете (США), Шанхайском университете (КНР), созданы и приобрели популярность такие относительно новые институты дистанционного образования и самообразования, как телеуниверситеты, тьютерские центры (мультимедийное обучения), информационные центры (интернет-обучение).

Дистанционное обучение на современно этапе - это новая организация образовательного процесса, которая базируется на принципе самостоятельного обучения, совокупности методов и средств обучения и администрирования учебных процедур и обеспечивает проведение учебного процесса на расстоянии с помощью современных информационных и телекоммуникационных технологий.

Современные информационные технологии, применяемые в настоящее время в сфере, позволяют решить проблемы индивидуализации учебной деятельности, обеспечить непрерывную обратную связь между преподавателем и студентом на основе широкого внедрения систем дистанционного обучения. В работах ученых А.А. Андреева, А.М. Вернадского, Е.Л. Гавриловой, Е.С. Полата, В. Л. Тихомирова дается определения дистанционного обучения, а также в диссертационных исследованиях С.Г. Бондарева, Г.М. Татарчук и др. Дистанционное обучение рассматривается учеными как форма организации образования, когда студенты отдалены от преподавателя в пространстве и времени, но могут поддерживать диалог с помощью средств коммуникации. Предоставление доступа к учебным материалам, рекомендаций по работе с ними происходит в удобном месте и в удобное время. Это позволяет снизить количество аудиторных занятий в общем нагрузке студента и освободить время для более активной самостоятельной работы, обеспечить индивидуализацию обучения. Такая организация процесса обучения предполагает несколько иной подход к обучению, в частности: самостоятельность поиска, анализа, систематизации и обобщение информации, самоорганизацию и самоконтроль.

Отличие дистанционного обучения от традиционного понятно, если рассмотреть их с точки зрения форм взаимодействия преподавателя и студента. В основу традиционной модели обучения положено чтение лекций, проведение семинарских, лабораторных и различных видов занятий, организация самостоятельной работы студентов. База обучения – книга и преподаватель, как интерпретатор знания. Дистанционное же обучение ориентировано на внедрение в учебный процесс принципиально отличных моделей обучения, предусматривающих проведение конференций, выполнение курсовых работ, тренинги и другие виды деятельности с компьютерными и нетрадиционными технологиями. Существенно меняется в этом учебном процессе и роль преподавателя. На него возлагаются такие функции, как координирование познавательного процесса, корректировка изучаемого курса, консультирование обучающихся во время обучения по индивидуальному учебному плану и тому подобное, что помогает студентам в их профессиональном самоопределении.

Важным отличием системы дистанционного образования является тот факт, что обучающиеся сами выбирают последовательность изучения предметов и темп работы. Например, за один семестр можно пройти курс, который в дневном вузе изучают целый год или, наоборот, изучать в течение его двух лет. Многие системы дистанционного образования достигли сейчас такого уровня подготовки обучающихся к сдаче экзаменов на получение дипломов или свидетельств об окончании, который не уступает уровню, обеспечиваемому традиционными учебными заведениями, а также отвечает всем установленным государством требованиям по содержанию, условиям и стоимости обучения [3].

Одной из ключевых проблем дистанционного обучения остается проблема аутентификации пользователя при проверке знаний. Большинство дистанционных программ предполагает очную экзаменационную сессию. Отчасти эта проблема решается с установкой видеокамер на стороне обучающего и соответствующего программного обучения.

Если рассмотреть особенности дистанционного образования с точки зрения коммуникаций между преподавателем и студентом, то можно определить такие ее характерные черты:

самообразование как основа дистанционного обучения, предусматривающая мотивацию студента в отношении собственного обучения, а также определенный уровень самоорганизации личности;

общение преподавателя и слушателя по принципу "друг к другу", что соответствует по форме и содержанию индивидуальной консультации;

общение и взаимодействие "друг к другу" не исключает взаимодействия " друга ко многим", поскольку преподаватель, в соответствии с заранее составленным графиком, работает сразу с множеством студентов. Такая форма взаимодействия напоминает традиционное обучение в аудиториях;

взаимодействие "многих ко многим" означает, что возможно одновременное общение множества студентов, которые обмениваются между собой опытом и впечатлениями.

Исходя из этого, дистанционное обучение имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным обучением: передовые образовательные технологии, доступность источников информации, индивидуализация обучения, удобная система консультирования, демократические отношения между студентом и преподавателем, удобный график и место работы. Вместе с тем, для обеспечения надлежащего уровня дистанционного учебного процесса, необходимой и актуальной задачей является проектирование и внедрение таких систем, которые обеспечили бы реализацию различных форм учебных телекоммуникаций, в частности онлайн-тренингов, веб-конференций, учебных семинаров и тому подобное [4].

В заключении следует подчеркнуть, что дистанционное обучение как одна из форм получения образования может помочь решить задачи, стоящие перед системой образования по предоставлению широким слоям населения доступного и качественного образования в современных социально- экономических условиях России. Кроме того, активное внедрение дистанционного обучения в образовательный процесс позволяет обеспечить переход к качественно новому уровню педагогической деятельности, значительно увеличивая ее дидактические, информационные, методические и технологические возможности. Данное образование призвано решать специфические задачи, затруднённые для достижения в обычном обучении: усиление активной роли обучающегося в собственном образовании, получение возможности общения его с педагогами-профессионалами, а также возможность соревнования с большим количеством сверстников, проживающих в различных городах и странах во время участия во всевозможных проектах, конкурсах и олимпиадах. Эти задачи относятся к развитию творческой составляющей образования. Считаем, что если при

дистанционном обучении студент не научится самостоятельно принимать решения, определять содержание своей учебной деятельности и находить средства ее реализации, то он не сможет качественно овладеть той или иной дисциплиной. Отметим, что дистанционное обучение выполняет не только образовательную, но и воспитательную функцию – способствует формированию ведущих качеств личности: самоорганизация, активность, самостоятельность, самосовершенствование, творчество. Дистанционное обучение – это альтернатива, ни в коем случае не замена, традиционному образованию, которое призвано обеспечить доступность образования при сохранении его качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вяткина И.В., Вьюгина С.В. Возможности использования инновационных технологий в учебном процессе университета /И.В.Вяткина, С.В.Вьюгина//Труды международного симпозиума Надежность и качество.Т.1. 2018.- С.247-277.

2. Вяткина И.В., Вьюгина С.В. Информационно-коммуникационные технологии в системе обучения иностранных студентов русскому языку как иностранному/ И.В. Вяткина, С.В.Вьюгина ////Труды международного симпозиума Надежность и качество. Т.2. 2019.-С.92-94.

3. Вяткина И.В. Хайруллина Э.Р., Иксанова А.С. Система дистанционного обучения Moodlle в образовательном процессе. В сборнике: Высшее и среднее профессиональное образование россии в начале 21-го века: состояние, проблемы, перспективы развития. Материалы 12-ой Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах. Под общей редакцией Р.С. Сафина, Е.А. Корчагина. 2018. С.208-212.

4. Иксанова А.С., Хайруллина Э.Р.,Вяткина И.В. Преподавание гуманитарных дисциплин с использованием информационно-коммуникативных технологий. В сборнике: Проблемы инженерного и социально-экономического образования в техническом вузе в условиях модернизации высшего образования-2018.Материалы IX Международной научно-методической конференции.Отв.ред.С.Д.Погорелова.2018. - С.417-421.

УДК 378.14

Вьюгина С.В.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

НАУЧНЫЙ СТИЛЬ: ЛЕКСИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

В статье рассматриваются вопросы преподавания научного стиля речи при изучении дисциплины «Русский язык и культура профессиональной речи», имеющая в стенах технологического вуза свои особенности. При развитии лексики будущих бакалавров наукоемкого производства актуальным является освоение лексики научного стиля, в первую очередь изучение научной и специальной терминологии. В статье приведены материалы для самостоятельной работы студентов при изучении данного модуля. Синтаксические конструкции предложений также являются актуальными при написании научного текста.

Ключевые слова:

НАУЧНЫЙ СТИЛЬ, ЛЕКСИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, НАУЧНАЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ, СИНТАКСИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

В образовательной системе формирование коммуникативной компетенции в сфере профессионального общения является важнейшей задачей для преподавателей русского языка. Профессионально ориентированная подготовка позволяет актуализировать и совершенствовать навыки эффективной речевой коммуникации в учебно-научной сфере в стенах вуза. Именно в стенах вуза для студентов актуальным является освоение терминологической и профессиональной лексики, впервые плотно начинают работать при освоении дисциплины «Русский язык и культура профессиональной речи».

Научный стиль – один из функциональных стилей общелитературного языка, обслуживающий сферу науки и производств. Специфические особенности этого стиля обусловлены предназначенностью научных текстов для передачи объективной информации о природе, человеке и обществе. Основной формой мышления в науке является понятие, поэтому научному стилю речи свойственна подчеркнутая отвлеченность и обобщенность, которая выражается в текстах употреблением слов абстрактной семантики и слов среднего рода с отвлеченным значением. Задачи общения в сфере науки, ее предмет, содержание речи требуют передачи общих понятий, к тому же понятий научных. Этому служит абстрактная лексика, специальная лексика и терминология. Терминология, являясь одной из главных составляющих научной речи, воплощает такое качество научного стиля, как точность.

Основная цель научного стиля – сообщение научных результатов: основная форма его осуществления – монолог. От других стилей научный стиль отличается логичностью и точностью, обобщенность и отвлеченностью, насыщенностью терминами. Основными его жанрами являются: лекции, реферат, курсовые и дипломные работы, доклад, учебники, диссертации, монографии, научная статья, энциклопедия, словарь, справочник, отзыв, рецензия, аннотация и др.

При изучении лексических особенностей научного стиля особое внимание уделяется на основные два его признака:

- во-первых, использование стилистически нейтральных (общелитературных) слов в их прямом конкретном значении;

- во-вторых, частое использование специальных терминов и понятий, сочетаний терминологического характера.

Особое внимание при изучении лексики научного стиля нужно обращать на то, что по всем отраслям знаний созданы терминологические словари и именно термины являются ключевыми словосочетаниями при написании научных трудов. Слово «***термин***» (с греческого языка – ***terminus***) - в древнегреческой мифологии: бог границ, предела, пограничных знаков, столбов и камней, которые разделяли земельные участки. Лингвистическое понятие: термин – это слово или словосочетание, название определенного понятия из какой-нибудь специальной области науки, техники, искусства, производства [3].

Термин обязательно основан на точном научном определении понятия, в то же время его различают как узкоспециальные и общеупотребительные. Узкоспециальные термины используются только специалистами в данной области науки: например, в химии: ***ванадий, селен, кюрий;*** в области математики: ***квадратный корень, дифференциальные уравнения;*** в области языкознания: ***антонимы, синонимы, омонимы*** и т.д.

Особое внимание нужно уделить на то, что термины, как правило, однозначны. Они имеют строгое определение, обслуживают одну или смежные области знаний. По своему происхождению термины представляют собой несколько групп:

- первая группа – слова интернациональной лексики с греческими и латинскими корнями, например агроном (греч. ***agros*** – поле), биология (греч. ***bios*** – жизнь; ***logos*** - слово, понятие, учение – учение (наука) о жизни; аудитория (лат. ***audire*** – слушать); лаборатория (лат. ***lagur***– труд); циркуль (лат. ***circulus–*** круг);

- вторая группа – это слова чисто русского происхождения, например, ***менделевий –*** химический радиоактивный элемент; назван в честь Дмитрия Ивановича Менделеева, создателя периодической

системы элементов; ***курчатовий*** – химический радиоактивный элемент; назван в честь русского ученого Игоря Васильевича Курчатова, первого организатора и руководителя работ по атомной науке и технике в СССР. Чисто русского происхождение имеют такие термины, как ***луноход, атомоход, искусственный спутник земли (ИСЗ)*** и другие.

- третья группа терминов происходит от имени бога или человека, названия местности, города и т.д., например, ***ампер, дизель, вольт*** и т.д. Это эпонимы (греческое слово ***eponumos*** состоит из двух корней*:* ***epi*** - после и ***onumos –*** имя) отражают этапы развития человеческой культуры, истории, религии и науки. Трудно найти область знаний или культуры, где бы не употреблялись эпонимы, например, в области физики: вольт (в честь итальянского физика и физиолога Алессандра Вольта – одного из основателей учения об электричестве); герц (в честь немецкого ученого Генриха Герца, который экспериментально доказал существование электромагнитных волн).т

На занятиях нами применяются разработанные упражнения и задания, нацеленные на сформирование прочных знаний о специальной лексике как системном языковом явлении, выработаны умения узнавания терминов по научному направлению конкретной тематики. В модуль научного стиля включены специальные упражнения для самостоятельной практической работы студентов.

Первое задание. Приведенные термины нужно написать в два столбика:

Необходимо объяснить значение нижеприведенных терминов; с некоторыми из них (по выбору) составить предложения по научной тематике: ***акустика, аккумулятор, антенна, барометр, волны, вольт, гамма-излучение, герц, гальванометр, джоуль, детектор, диэлектрики, доноры, изотерма, изотопы, звук, ом, оптика, паскаль, резонанс, синхронизатор, тесла, фарадей.***

Общеупотребительные термины	Узкоспециальные термины

Второе задание. От приведенных терминов образуйте новые, производные от них слова и словосочетания, например, (греч. ***tele*** – далеко) – телевизор, телеграф, телескоп, телефон, телебашня, телеграмма, телеконференция, телемост. Объясните их значение фото (греч. ***photo*** – свет) микро – (греч. ***mikro*** – малый), радио (лат. ***radio*** – излучение).

Третье задание. От международных словообразовательных элементов образуйте производные слова (лат. ***agua*** – вода), ауди (лат. ***audire*** – слушать), био (греч. ***bios*** – жизнь), граф (греч. ***grapho*** – пишу), дем (греч. ***demos*** – народ), косм (грек. ***kosmos*** – Вселенная), лабор (лат. ***labor*** – труд). лог (греч. ***logos*** – слово, понятие, учение), метр (греч. ***metron***– мера). Например: агро – агроном, агротехника, агрокультура, агропродукт, агрофирма, агрохимия, агроэкология, агролаборатория, агрокомплекс, . Объясните их значение, с отдельными словами продумайте предложения.

Четвертое задание. Нужно давать объяснение значениям следующих терминов: волны, движение, ускорение. Подберите к ним как можно больше определений: например, физика (греч. ***physis*** – природа) – атомная, квантовая, ядерная, математическая, молекулярная. Объясните значение этих понятий [2].

В научном стиле актуально применение международной системы единиц – это система единиц физических величин, введенная в 1960 году. Сокращенное обозначение Si (в русском языке написании СИ). Содержит 7 основных единиц: длина (метр), масса (килограмм), время (секунда), сила электрического тока (ампер), термодинамическая температура (кельвин), сила света (кандела), количество вещества (моль). Необходимо усвоить, что первые три основные единицы (длина, масса, время) позволяют образовывать произведения единицы для всех величин, имеющих механическую природу. Далее, четвертая единица позволяет образовывать производные единицы для электрических и магнитных величин, пятая – для тепловых единиц. шестая – для световых величин, седьмая – для величин в области молекулярной физики. Наименования десятичных единиц образуются при помощи специальных приставок [4].

После чтения текста и выяснения значений непонятных слов и выражений предлагаются вопросы и задания по тексту с целью выяснения того, как студенты усвоили его содержание:

1) Что такое СИ?

2) Сколько единиц содержит СИ? Дайте определение таких понятий, как ампер, кельвин, кандела, моль.

3) какие три основные единицы СИ позволяют образовывать производные единицы для всех величин, имеющих механическую природу?

4) Что позволяет образовывать четвертая величина (сила электрического тока)?

5) Что позволяет образовывать пятая величина (термодинамическая температура)?

6) Что позволяет образовывать шестая величина (сила света)?

7) Что позволяет образовывать седьмая величина (количество вещества)?

8) Как образуются наименования десятичных кратных единиц и дольных единиц? Приведите примеры.

Заключительным этапом работы над текстом является его пересказ текста.

Работа над научным стилем продолжается и при изучении модуля «Культура профессиональной речи», основная цель которой заключается в усвоении языка специальности, в овладении системой базовых понятий и терминологией по специальности и т.д.

В научной речи широко используются слова, отражающие соотношение между частыми высказываниями, служащие для создания стройного, логичного текста, часто употребляются наречия в связующей функции; преобладают глаголы в самой обобщенной форме (настоящего постоянного или настоящего вневременного); для глаголов и личных местоимений характерно использование форм 3-го лица, что помогает подчеркнуть отвлеченность и обобщенность стиля. в синтаксисе можно отметить приоритет сложных предложений над простыми, использование общеизвестных предложений, широкое употребление причастных и деепричастных оборотов, страдательных конструкций.

В тексты многих научных специальностей (естественного направления) органически входят формулы. Поэтому научные тексты объективно трудны для восприятия. К ним нельзя предъявлять требования вседоступности. Следует, однако, заметить, что объективные трудности восприятия научных текстов не имеют ничего общего с субъективной трудностью восприятия некоторых научных текстов. существует ложное убеждение, что наука в в принципе должна быть непонятная для непосвященных. Поэтому некоторые ученые, особенно начинающие, стараются написать одними терминами, что затрудняет восприятие, хотя специальной терминологии должно быть не более 20% от всего текста.

При подготовке к выступлениям следует отметить еще одно немаловажное обстоятельство, нужно всегда иметь в виду, что имеются существенные различия между письменной и устной формами научного стиля. Следовательно, вполне оправдана глубокая информационная насыщенность письменных научных текстов, поскольку письменный текст, если он не сразу понят, может быть вновь прочитан. Устный научный текст. т.е. лекция, такого повторного восприятия не допускает. При подготовке к устному выступлению нужно подавать информацию частями, возвращаясь к уже сказанному,

вновь активизируя его в сознании слушателей. В результате семантико-синтаксическая структура устного научного текста оказывается весьма своеобразной.

Синтаксис научной стиля характеризуется обилием безличных и неопредленно-личных конструкций с главным членом предикатов. Логическую последовательность изложения, которая выражается с помощью таких слов и выражений, как «сначала», «затем», «поэтому», при этом. Таким образом, особое внимание студентов стоит обратить на написание и использование сложных союзов, необходимо также помнить об общепринятых сокращениях, характерных для научного стиля, научить студентов правильно их расшифровать и применить в своих научных трудах, выполняемых в учебном процессе вуза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вьюгина, С.В. Организация научной деятельности студентов как средство повышения качества образования в педагогической системе вуза /С.В.Вьюгина, Ф.Ф.Вафина // Сборник докладов и научных статей международной сетевой конференции «Новые стандарты и технологии инженерного образования: возможности вузов и потребности нефтегазохимической отрасли», 5-6 декабря 2017 г. – Казань, 2017, т.2 - С.98-101.

2. Вьюгина, С.В. Особенности организации научно-исследовательской работы студентов. /С.В.Вьюгина. // Материалы 12-й Международной научно-практической конференции «Высшее и среднее профессиональное образование России в начале 21-го века: состояние, проблемы, перспективы развития» - Казань, 17 мая 2018 г. – С.109-113.

3. Вьюгина, С.В. Особенности оформления научных исследований студентами технологического вуза. /С.В.Вьюгина, И.В.Вяткина. // Материалы Международного симпозиума «Надежность и качество», Пенза, 2018 г. –Т.1 С.271-274

4. Деньгуб, В.М. Единицы величин. Словарь-справочник. /В.М. Деньгуб, В.Г. Смирнов/ - М.: Изд-во стандартов, 1990. – 240 с.

УДК 378.14

Вяткина И.В.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

ВНЕДРЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ – ТРЕБОВАНИЕ СОВРЕМЕННОСТИ

В статье излагаются вопросы использования дистанционного обучения в высшей школе. Выделены преимущества и недостатки дистанционной формы обучения. Отмечается активная роль преподавателя, т.к. именно он определяет уровень знаний студента и принимает решение о корректировке программы обучения с тем, чтобы добиться наилучшего усвоения пройденного материала. В работе уделено внимание использованию системы Moodle в учебном процессе, описаны пути ее применения. Отмечают, что внедрение этой системы для изучения дисциплин не связано с отказом от традиционных форм обучения, а является дополнительной к уже существующим формам обучения. Кроме этого выделяют и другие виды дистанционного обучения: чат-занятия, веб-занятия, телеконференции, а также рассылка учебных материалов почтой в регионы. В настоящее время дистанционное обучение развивается, совершенствуется, благодаря чему открываются новые возможности получения знаний.

Ключевые слова:

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ, ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СИСТЕМА MOODLLE

Использование информационно - коммуникационных технологий в учреждениях высшего образования - важный фактор обеспечения качества и открытости высшего профессионального образования в Российской Федерации. Создание и использование информационного пространства предполагает широкое внедрения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в образовании [1]. Одним из приоритетных направлений программы модернизации общеобразовательной и высшей школы признано дистанционное обучение. В современных условиях существует потребность получение высшего образования дистанционно, что вызвано необходимостью учиться без отрыва от производства, получения образования людьми с ограниченными возможностями и теми, что находятся за границей или в местах лишения воли. Такую возможность предоставляет дистанционное обучение, которое осуществляется благодаря информационно-образовательным технологиям и системам коммуникации.

Дистанционная форма обучения имеет ряд неоспоримых преимуществ. В настоящее время важно, что студент может обучаться в удобное для него время, в привычном окружение и в относительно автономном темпе. Стоит учесть также и низкую стоимость такого обучения, поскольку отпадает потребность в аренде помещений, оплате значительного количества ППС и т.д. [2].

Однако, система дистанционного обучения имеет и недостатки. Во-первых, для успешной коррекции обучения и адекватного оценивания важно иметь непосредственный контакт с соискателем. Кроме того, невозможно точно проверить, именно человек работает, выполняет задания или это делает кто-то другой. Считаем, что окончательный контроль качества знаний все же проводится на очной сессии. Кроме того, не во всех населенных пунктах есть возможность доступа к сети Интернет. И самое главное, при дистанционном обучении теряется непосредственный контакт между преподавателем и студентом. При длительном дистанционном обучении студент перестает правильно формулировать свои мысли, высказываться и проводить дискуссионное обсуждение. Вместе с тем, такая форма обучение требует сознательного и мотивированного подхода к получению образования. Возможность учиться в удобное время может превратиться не на систематическое обучение, а на постоянную прокрастинацию этого вида деятельности. Именно поэтому дистанционная форма требует особой самоорганизованности и умения рассчитать свое время.

Отмечаем, что в условиях дистанционного обучения активная роль преподавателя не уменьшается, поскольку он должен определить уровень знаний соискателя и принять решение о корректировке программы обучения с тем, чтобы добиться наилучшего усвоения пройденного материала. При необходимости студент может получить консультативную помощь преподавателя, общаясь с ним в онлайн режиме, непосредственно используя интернет как средство связи.

Для успешного проведения дистанционного обучения успешно используется система Moodle. В течение последних пяти-семи лет лучшей и наиболее популярной во всём мире электронной средой в сфере образования считается среда Moodle, название которой можно дословно перевести как «Модульная объектно-ориентированная динамическая обучающая среда». Она стала очень популярной среди преподавателей во всем мире как средство для создания динамических веб-сайтов для студентов независимо от уровня получаемого образования. Для обеспечения работы она должна быть установлена на веб- сервере либо на собственном компьютере преподавателя. Стоит отметить, что основной целью проекта по созданию Moodle является предоставление преподавателям одним из лучших средств для управления процессом обучения и его популяризации. Есть несколько путей использования Moodle:

1) масштабирование вплоть до нескольких сотен тысяч обучаемых, а может использоваться даже для начальной школы или самостоятельного обучения;

2) большое количество организаций используют Moodle в качестве платформы для создания полностью онлайновых курсов (известное как смешанное обучение);

3) многим пользователям нравятся модули элементов курса (форумы, базы данных и словари) из-за возможности создания удобной среды для обмена информацией по изучаемым темам;

4) преподаватели высших учебных заведений предпочитают использовать Moodle как способ предоставления информации для студентов (например, стандарт пакетов SCORM) и оценки обучения с использованием заданий или тестов;

5) по своей природе виртуальная среда Moodle является интерактивной, благодаря чему может существенно увеличивать степень усвоения учебного материала обучаемыми, так как делает образовательный процесс более интересным и динамичным [2].

С этих позиций философия среды Moodle связывает образование будущего с так называемым «смешанным обучением» (blended learning) или «электронным образованием полного цикла» (рис. 1).

Таким образом, концепция Moodle считает, что основная идея среды не связана с отказом от традиционных форм обучения. Напротив, возможности электронной среды используются дополнительно к уже существующим формам обучения, создавая два формата обучения: смешанное или дистанционное. В данном случае речь не идёт об обычном образовании, осуществляемом полностью либо частично в дистанционной форме.

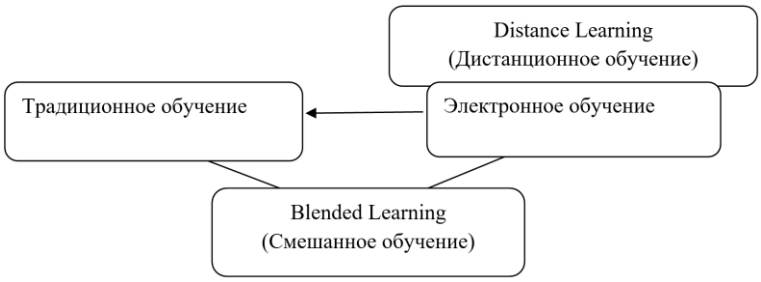


Рисунок 1 - Концепция Moodle основана на идее «смешанного обучения»

Подразумевается, прежде всего, подход, при котором все последние учебно- методические разработки и образовательные новации по группе дисциплин преподаватель переводит в особый формат «электронного образования», позволяющего решить две важнейшие задачи: – сделать образование качественным, конкурентоспособным, мак симально эффективным и полным; – сделать образование максимально доступным для самой широкой аудитории, в том числе и для потребителей из других стран. Однако высокий дидактический потенциал электронных технологий может быть реализован только при использовании ресурсов, имеющих четкое психолого-педагогическое обоснование. Считаем, что систему Moodle можно рассматривать как специально организованную учебную деятельность, способствующую развитию компетенций обучающихся, прежде всего, развитие аналитических, проектировочных, коммуникативных способностей (готовность к поиску, созданию и применению новшеств в образовательном процессе, способность осуществлять взаимодействие в интерактивном режиме, применять индивидуализированные, деятельностные и личностно ориентированные технологии и методики обучения и др.).

Опыт использования дистанционной формы обучения выявил еще один недостаток, а именно – большая нагрузка на зрение в связи с необходимостью длительное время находиться за компьютером. Поэтому, применяя дистанционную форму обучения нужно разнообразить ее виды. Наиболее распространенными являются следующие виды дистанционных технологий:

- чат-занятия проводятся синхронно, когда все участники имеют одновременный доступ к чату;

- веб-занятия или дистанционные лекции, конференции, семинары, деловые игры, лабораторные работы, практикумы и другие формы учебных занятий, что проводимых с помощью средств телекоммуникаций и других возможностей интернета;

- проводимые телеконференции на основе списков рассылки с использованием электронной почты. Для учебных телеконференций характерно достижение образовательных задач.

Также существуют формы дистанционного обучения, при котором учебные материалы высылаются почтой в регионы. Однако не все знания можно получить дистанционно. Так, например, научиться самостоятельно некоторым видам творческой деятельности, при отсутствии прямого контакта студента и преподавателя, практически невозможно. Одна из главных проблем внедрения инновационных форм обучение является выбор оптимального соотношения лучших традиций имеющейся образовательной системы, современных педагогических инноваций и инструментария информационно-коммуникационных технологий. Как показывает практика и некоторые исследования, тенденция обучения четко развивается в направлении смешанного обучение (blended learning) как процесса, который создает комфортное информационная образовательная среда, системы коммуникаций, предоставляющие всю необходимую учебную информацию [4].

Итак, на сегодняшний день дистанционное образование развивается, совершенствуется и охватывает различные группы населения, ведь для современной экономики - "экономики знаний" присущая парадигма и обучаться в течение всей жизни. Инновационные образовательные технологии открывают новые возможности во всех сферах деятельности человека. Управление аудиторной и внеаудиторной работой студентов очной и заочной форм обучения, осуществляется в условиях смешанного традиционного и дистанционного обучения, что способствует активному привлечению студентов к процессу общения, позволяет улучшить их профессиональную подготовку, а также сформировать навыки к самообразованию, самопознанию, самосовершенствованию и обучения в течение всей жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вяткина И.В., Вьюгина С.В. Возможности использования инновационных технологий в учебном процессе университета /И.В.Вяткина, С.В.Вьюгина//Труды международного симпозиума Надежность и качество.Т.1. 2018.-С.247-277.

2. Вяткина И.В., Курзякова А.А. Применение технических средств обучения при изучении дисциплины "Русский язык и культура речи" для студентов нефилологического направления как средство интенсификации обучения. В сборнике: Роль инноваций в трансформации современной науки. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. Уфа, 2016. - С. 109-112.

3. Иксанова А.С., Хайруллина Э.Р.,Вяткина И.В. Преподавание гуманитарных дисциплин с использованием информационно-коммуникативных технологий. В сборнике: Проблемы инженерного и социально-экономического образования в техническом вузе в условиях модернизации высшего образования-2018.Материалы IX Международной научно-методической конференции.Отв.ред.С.Д.Погорелова.2018 - С.417-421.

4. Вяткина И.В., Вьюгина С.В. Информационно-коммуникационные технологии в системе обучения иностранных студентов русскому языку как иностранному/ И.В. Вяткина, С.В.Вьюгина ////Труды международного симпозиума Надежность и качество. Т.2. 2019.-С.92-94.

УДК 378.14

Вьюгина С.В., Галимзянова И.И.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

РУССКИЙ ЯЗЫК КАК ИНОСТРАННЫЙ: ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРЕПОДАВАНИЯ

Статья посвящена обучению иностранных студентов русскому языку как иностранному (РКИ). В современной образовательной системе вуза невозможно проведение занятий без применения различных видов методики преподавания русского языка как иностранного в неязыковом вузе, имеющей свои особенности. Нами описаны различные подходы в методике преподавания, реализуемые образовательные функции, необходимые для эффективного изучения русского языка как иностранного, одним из них является включение личностно-ориентированного подхода в методику преподавания РКИ.

Ключевые слова:

РУССКИЙ ЯЗЫК КАК ИНОСТРАННЫЙ, ОБУЧЕНИЕ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ РУССКОМУ ЯЗЫКУ КАК ИНОСТРАННОМУ, ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА, ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ, ЛИЧНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

Современное профессиональное обучение русскому языку как иностранному требует особой профессиональной подготовки преподавателя русского языка, которому важно показать иностранным студентам отражение в русском языке русской ментальности – русского характера, загадочной русской души, русского духа и т.п. Эту особенность можно показать при изучении русской литературы, русских сказок, пословиц и поговорок, при изучении грамматики, русского речевого этикета, страноведения, истории и культуры России.

Важнейшим в работе со студентами, изучающими русский язык – преодоление языкового барьера и «выход в коммуникацию», то есть в живое общение. Им нужны коммуникативные навыки и умения, которые позволяют им свободно вращаться в иной культурной среде. Необходимо языковые материалы обосновывать на каком-то страноведческом материале, чтобы они могли узнать больше о России по адаптированным текстам.

Изучение языка является сложным процессом для иностранного студента в иноязычной среде. Самое главное работа над пополнением словарного запаса, который должен постоянно пополняться, новые слова должны учиться каждый день. Периодически нужно давать студентами новые слова, которыми были использованы на этом же занятии для того, чтобы им было проще их учить и запоминать, в дальнейшем применять в повседневном общении в русскоязычной среде.

Материал с национально-культурным компонентом может по-разному вписаться в систему обучения русскому языку. Эмоциональность, доброжелательность, тактичность русских проявилась в обилии восклицательного знака, многоточия, уменьшительно-ласкательных суффиксов, которые отражены в нашей повседневной жизни, например в названиях торговых предприятий: «Парфюмчик», «Родничок», продуктов питания «Маслица» и общественного питания «Духовка» и др. Преподавателю русского языка целесообразно научить студентов видеть взаимосвязь языка, менталитета и культуры в словообразовании. Например: ***люб***ить – любовь – любой – любо, т.е. любой может любить и быть любимым. Каждый префикс в русском языке несет определенную смысловую и оценочную характеристику, например: в словообразовательном ряду однокоренных слов - ***род*** – родник, природа – родня – родители – родина – народ, префикс НА – выражает высочайшее проявление признака рода, а префиксы ВЫ- ОТ- У- отторжение – выродок, отродье, урод. [4]

При организации занятий по русскому языку необходимо донести до иностранных студентов о взаимосвязи языка и культуры, том числе является возможностью в первую очередь научиться говорить по-русски, общаться на русском языке, приобщиться к русской культуре. Для эффективного обучения русскому языку студентов преподавателю РКИ необходимо учитывать также национально-культурные особенности их речевого поведения, применяя сопоставительно-сравнительный метод изучения языка. Следовательно, ему нужно обладать профессиональной поликультурной компетентностью, проявляющейся в гибком и комфортном индивидуальном педагогическом общении. Этикет речевой культуры требует соблюдения определенных этикетных правил общения и прежде всего учета межнациональных различий невербального общения, ибо установлено, что более 80% информации считывается невербальным путем.

Многолетний опыт работы с иностранными студентами показывает, в первую очередь, арабских и китайских студентов, обучающихся в России , и целесообразность учета их национально-культурных различий на коммуникативном уровне, используя характеристики, данные Р.Л.Льюсом [3]. Наблюдения на занятиях, где занимаются студенты с арабских стран показывает, что арабы отличаются активностью словоохотливостью, посягательством на «личные секреты», вольное обращение со временем, демонстративной жестикуляцией. Громкость голоса при разговоре с арабами означает для них искренность. В арабском мире совершенно нормально, когда речь эмоциональна. Арабы – поклонники ораторского искусства, у них считаются нормальным дышать на собеседника и часто прикасаться ему. «Поэтому с арабом надо общаться на более близком расстоянии, чем с британцем или немцем. Если вы держитесь на своей привычной дистанции, то араб может подумать, что вы находите его присутствие физически неприятным или что вы слишком холодный человек» [3].

Применяя на занятиях личностно-ориентированный подход при работе со студентами-арабами, можно достичь высоких результатов при изучении языка. Именно при таком подходе главным действующим лицом всего образовательного процесса является личность студента. А преподаватель становится “источником информации” и “контролером”, по этой причине преподавателю РКИ важно иметь имидж знающего и искреннего человека, начиная с внешнего вида. Их может оскорбить неподходящая одежда и излишняя фамильярность На занятиях с арабами необходимо организовать учебный процесс на личностных взаимоотношениях, проявляя свой личный интерес к ним, к их семье, здоровье близких. Это верный путь добиться их преданности, от этого зависит и интерес к изучению учебного материала. Арабские студенты часто относятся к преподавателю РКИ как к другу, рассказывают о своих переживаниях, друзьях, в то же время они ждут похвалы и болезненно реагируют на критику. Таким образом, преподавателю РКИ необходимо соблюдать педагогическую этику “Хочешь поругать – сначала похвали”, она дает возможность добиться успеха в отношениях с арабскими студентами. [2]

Личностно-ориентированный подход при обучении русскому языку как иностранному требует обратить особое внимание на:

- многогранной профессиональной подготовки преподавателя РКИ;
- учета национально-культурной специфики аудитории;
- заинтересованность студентов к будущей профессиональной деятельности [1].

В учебном процессе перед нами стоит важная задача – подготовить в короткий срок студента, хорошо владеющего русским языком. Добиться поставленной цели – научить студента в течение ограниченного учебными рамками периода говорить о проблемах своей специальности и понимать речь носителей языка в этом плане – можно, сочетая

традиционные и инновационные методы, но делая акцент на принцип коммуникативности как в обучении, так и в использовании компьютерных технологий.

Традиционное обучение русскому языку как иностранному ориентировано на чтение, понимание и перевод специальных текстов, а также изучение терминологии по специальности, т.е. синтаксиса научного стиля. Особое внимание нужно уделить на то, что работа по созданию базовых знаний должна организоваться, особенно на начальном этапе, по четким алгоритмам изучения языка. Начинаем работа с чтения текста, но в идеале нужно стремиться к восприятию информации «с голоса», применяя «интонационное чтение». Данная методика широко освещается в современных интенсивных методических разработках.

Как показывает многолетний опыт работы с иностранными студентами, также эффективным является метод погружения в искусственно созданную ситуацию, где студентам необходимо выполнить задание, связанное с задачами, встречающимися в повседневной жизни, но требующие знаний специальной терминологии. Существует множество методик к введению, отработке и закреплению лексики на уроках русского языка, в данном процессе немаловажную роль играет и компетенция преподавателя.

В механизме профессионально-ориентированного диалогического общения нужно выделить несколько компонентов:

а) цели (ради чего студент вступает в общение);

б) содержание (информация, которая передается от одного человека к другому);

в) средства и способы переработки и расшифровки информации;

г) каналы, по которым передается информация.

Как и любой другой диалогический текст, профессиональный диалог можно разделить на содержательные блоки, объединенные тематически. Каждому из них соответствует своя коммуникативная цель. Умение вести диалог равнозначно с грамматикой, и эти два направления невозможны одно без другого. Для того, чтобы грамотно сочетать эти два направления, нужно, чтобы устная практика на половину состояла из повторения грамматики, пройденной на уроке. Желательно как можно чаще использовать диалоги, чтобы студенты могли практиковаться в развитии устной речи.

При развитии навыков устной речи необходимо помнить, что монологический ее элемент не уступает диалогическому. Поэтому далее следует идти на увеличение объема монологической реплики в диалоге и позднее к чисто монологическим формам устной речи. Поставленной цели можно добиться только на основе коммуникативно-ориентированных учебников и учебных материалов. И на начальном этапе изучения русского языка одной из важнейших целей является чтение, служащим средством для овладения другими видами речевой деятельности, что особенно важно на этом этапе изучения языка. Как известно, иностранным студентам в период обучения в российском вузе присущ высокий уровень мотивации овладения языком вообще.

Таким образом, успешного обучения русскому языку как иностранному можно добиться применением в первую очередь, личностно-ориентированного подхода, дающий максимально раскрывать возможности личности студента, развивая его интеллектуальной потенциал, развивая его творческие возможности. Данный подход будет эффективным при соблюдении следующих условий:

- современной профессиональной подготовки преподавателя РКИ;
- обучение русскому языку как приобщению к русской культуре;
- активное включение иностранных студентов в реальную речевую деятельность;
- использование межпредметных связей в обучении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вьюгина, С.В. Практико-ориентированный подход при обучении русскому языку иностранных студентов. /С.В.Вьюгина //Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Язык в образовательном пространстве неязыкового вуза: теория и практика», 18-19 апреля 2019 г. – Новосибирск: НГТУ- 2019. – С.247-253

2. Вьюгина, С.В. Место информационных технологий в преподавании русского языка как иностранного. \С.В. Вьюгина, И.И.Галимзянова // Материалы международного симпозиума «Надежность и качества» - Пенза, 2019. т.2. – С.94-96

3. Льюис Р.Д. Деловые культуры в международном бизнесе. От столкновения к взаимопониманию. /Р.Л.Льюис. – М, 1999/

4. Стародумов, И.В. Особенности преподавания русского языка как иностранного. /И.В.Стародумов //Молодой ученый. – 2018. - №40. – С.204-207- URL. https://moluch.ru/archive/226/52843 (дата обраѳения: 05.04.2020).

УДК 378.14

Рязапова Л.З., Загрутдинова А.К.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА

Рассматриваются механизмы внедрения новых требований стандарта ГОСТ Р ИСО 9001–2015 (ISO 9001:2015) в образовательной организации на примере реализации процессного подхода в СМК университета. Предлагается метод анализа достижения показателей эффективности отдельными подразделениями, совокупность которых ориентирована на достижение установленных показателей вуза в целом.

Ключевые слова

СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА, ПРОЦЕССНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ) сегодня — это крупнейший отечественный образовательный центр химико-технологического профиля. Университет занимает лидирующие позиции в области подготовки высококвалифицированных инженерных кадров по направлению «Химическая технология». Здесь реализуется 380 образовательных программ высшего, среднего и дополнительного образования. В вузе обучается почти 25 000 студентов и аспирантов. Высокие достижения вуза признаны целым рядом компаний - глобальных лидеров, деятельность которых имеет стратегическую значимость для отечественной экономики (ПАО «Газпром», ГК «Росатом» и др.), что позволило университету стать их опорным вузом. Такой статус позволяет привлекать в КНИТУ наиболее способных и перспективных студентов Приволжского региона России, а также ближнего и дальнего зарубежья.

Успешная деятельность университета базируется на многих составляющих, и одной из ключевых является созданная в нем в 2007 году и действующая по настоящее время система менеджмента качества (СМК), внедренная руководством организации и поддержанная на всех уровнях структурных подразделений. Первоначально построение СМК универси-

тета инициировалось как создание «системы менеджмента на основе гарантии качества образовательной деятельности — СГК ОД». В дальнейшем в ходе экспертизы, проведенной Рособрнадзором, комиссия рекомендовала доработать СМК КНИТУ «до уровня сертификации». В 2009 году в соответствии с одним из основополагающих принципов менеджмента качества «Лидерство руководства», заложенным в основу данного стандарта, высшим руководством университета были сформулированы миссия, политика и цели в области качества КНИТУ (высшие документы системы менеджмента качества), отражающие главное предназначение университета, его намерения и направления деятельности в области качества [1].

Политика и цели в области качества постоянно актуализируются, благодаря чему все сотрудники понимают ключевые направления деятельности университета и осознают важность личного вклада в достижение поставленных целей. Все структурные подразделения (включая факультеты и кафедры) ежегодно разрабатывают собственные документы «Цели в области качества» на учебный год. По его окончании составляются отчеты для высшего руководства университета. Формируется анализ со стороны руководства, который позволяет оценить валидность действующей системы менеджмента качества, ее пригодность к функционированию, достаточности и результативности. Анализ позволяет сделать заключения о целесообразности и необходимости изменений в системе менеджмента качества университета, в том числе политике и целях, а также оценку возможности улучшения процессов. Вся собранная информация является основой для принятия последующих управленческих решений, оценки рисков и определения корректирующий действий.

С 2009 года в университете внедрена система внутренней оценки деятельности подразделений (внутренних аудитов), функционирует институт уполномоченных по качеству (внутренних аудиторов), в состав которого вошли представители факультетов, кафедр и административных подразделений КНИТУ, прошедшие специализированное обучение.

Совершенствование образовательной деятельности вуза проводится с учетом мнения работодателей и на основе результатов комплексного самообследования, рейтинговой оценки структурных подразделений, успешного прохождения процедур государственной и профессионально-общественной аккредитации. В университете реализуются программы подготовки бакалавров и магистров по программам, актуальным для Приволжского Федерального округа (в том числе, подготовка магистров из других регионов, включая Москву), и промышленно-ориентированные образовательные программы подготовки бакалавров, магистров и аспирантов, участвующих в научно-исследовательских работах, реализуемых на предприятиях республики.

В настоящее время СМК КНИТУ в области образовательной, научно-исследовательской и учебно-воспитательной деятельности соответствует требованиям ГОСТ ISO 9001-2015 (с учетом рекомендаций стандартов и директив ENQA) [2]. Это позволяет вузу успешно интегрироваться в международное научно-образовательное пространство, расширять академическую и студенческую мобильность. В КНИТУ созданы необходимые условия для активной публикации научных трудов профессорско-преподавательского состава и обучающихся, в том числе в системах Web of Scince, Scopus и РИНЦ, реализации проектов международного сотрудничества в целях развития интеграционных процессов в международной научно-образовательной среде и совершенствования системы непрерывного образования. Заключено соглашение между КНИТУ и Минобрнауки России по экспорту образования.

Как и все организации, СМК которых сертифицированы на соответствие требованиям ГОСТ ISO 9001-2015, КНИТУ переработал свою систему менеджмента качества с учетом положений нового стандарта, таких как [3]:

интеграция мышления на основе рисков;

больший акцент на принципы менеджмента качества;

лучшее выстраивание процессов управления организацией;

конечные результаты (соответствие продукции результативности процессов);

менеджмент знаний;

менеджмент жизненного цикла;

улучшения и инновации;

включение в СМК инструментов управления качеством, в том числе статистических методов анализа, регулирования и контроля.

В целях эффективности деятельности университета в КНИТУ создана процессная структура управления с назначением владельцев и руководителей процессов. Многие исследователи предлагали различные подходы к созданию организационной структуры [4]. В КНИТУ на основании анализа внешних всероссийских и международных рейтингов, анализа среди референтных вузов, составляется перечень основных процессов, по которым устанавливаются показатели эффективности. Формирование процесса при этом включает несколько стадий, которые осуществляются последовательно и закрепляются приказом по университету.

На первом этапе происходит назначение руководителей основных процессов из числа проректоров (директоров) университета, которые несут ответственность за перспективное планирование, ресурсное обеспечение и достижение контрольных значений показателей основных процессов. Затем выделяются руководители поддерживающих процессов из числа руководителей основных управленческих подразделений (начальник управления, центра, отдела), которые несут ответственность за текущее планирование, ресурсное обеспечение и достижение контрольных значений поддерживающих процессов. Третья стадия обеспечивает закрепление персональной ответственности по достижению контрольных значений показателей основных, вспомогательных и поддерживающих процессов, обеспечивается посредством заключения эффективного контракта с руководителями и исполнителями процессов (рис.1).

Действующая в университете система мониторинга показателей эффективности позволяет увидеть реальную картину работы процесса, оценить все риски [5] и своевременно принять корректирующие действия, которые в свою очередь описаны в разработанных картах процессов, содержащих риски и корректирующие действия по каждому процессу. Разработанные карты процессов выстраивают всю последовательную цепочку процесса с указанием всех участников [6].

В 2019 году группой аудиторов Ассоциации по сертификации "Русский Регистр" была проведена сертификационная проверка системы менеджмента (СМ).

Целями проверки являлись:

проверка соответствия СМ требованиям ISO 9001:2015, установленных процессов и документации системы менеджмента организации;

оценка способности системы менеджмента обеспечивать соответствие применимым законодательным, нормативным и контрактным требованиям;

оценка результативности системы менеджмента для обеспечения уверенности, что поставленные цели могут быть достигнуты;

идентификация, если применимо, областей для возможного улучшения системы менеджмента.

Проверка проводилась по процессам и подразделениям, связанным с основной образовательной деятельностью университета. В ходе проверки были проверены следующие процессы/элементы системы менеджмента, определяющие эффективность образовательной деятельности:

Рисунок 1 - Декомпозиция показателей в соответствии с процессным подходом

КП-О-1.1-04.2019 «Обеспечение целевых показателей приемной кампании университета»

КП-О-1.2-04.2019 «Обеспечение необходимого объема научных и методических материалов»

КП-О-1.3-04.2019 «Обеспечение удельного веса магистров и аспирантов в общем контингенте обучающихся»

КП-О-1.4-04.2019 «Обеспечение установленной доли аспирантов, поступивших из других вузов»

КП-О-1.5-04.2019 «Обеспечение трудоустройства выпускников»

КП-О-1.6-04.2019 «Обеспечение доли студентов-целевиков, обучающихся по направлениям и областям знаний «Инженерное дело, технологии и технические науки», «Образование и педагогические науки»»

КП-О-1.11-04.2019 «Обеспечение контрольного уровня остаточных знаний обучающихся»

КП-О-2.2-03.2019 «Обеспечение необходимого количества публикаций, индексируемых в информационно-аналитических системах научного цитирования»

КП-О-2.3-03.2019 «Обеспечение необходимого количества цитирований публикаций, изданных за последние 5 лет, индексируемых в информационно-аналитических системах научного цитирования»

По результатам аудита подтверждена следующая область сертификации: разработка и реализация основных и дополнительных образовательных программ, осуществление научно-исследовательской деятельности.

Объем проверки был определен планом проверки и включал оценку адекватности и соответствия деятельности и элементов СМ, в том числе: производственных, управленческих и вспомогательных процессов; политики; целей; организационной структуры управления; документации СМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зекунов А.Г. Бабыкин С.В. Рязапова Л.З. Вавилова О.В. Особенности перехода образовательной организации на ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Компетентность. №2 (153) 2018г. с.18-24

2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования (*электронный ресурс* https://www.internet-law.ru/gosts/gost/60764/).

3. Зекунов А.Г., Бабыкин С.В., Особенности перехода на ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (ISO 9001:2015) // Компетентность. – 2017. - № 7 (148).

4. Серенков П.С. Методы менеджмента качества. Методология организационного проектирования инженерной составляющей системы менеджмента качества – Минск: Новое знание; М.: Инфра-М, 2015. – 491 с.

4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска.

5. Елиферов В.Г., Репин В.В. Бизнесс-процессы: Регламентация и управление. – М.6 Инфра-М, 2009. – 320 с.

УДК 378.14

Рязапова Л.З., Китаева Л.А.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСНОВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Проектирование профильной части основных образовательных программ высшего образования основывается на профессиональных стандартах, которые определены в качестве нормативно-правовой базы для структуры и содержания высшего образования. Рассмотрена актуальность разработки основных образовательных программ с учетом содержания компетенций профессиональных стандартов при переходе на ФГОС нового поколения. Выявлена необходимость проектирования «профиля выпускника», определяемого набором актуальных трудовых функций и спецификой направления подготовки. Приведен сравнительный анализ дескрипторов трудовых функций, определяющих организационно-технический компонент инженерной деятельности. Рассмотрена возможность использования дескрипторов трудовых действий, необходимых для осуществления трудовых функций, в качестве содержательной базы для формулирования индикаторов достижения сформированности компетенций. Предложены подходы к проектированию блоков дисциплин при формировании учебных планов различных профилей для инженерно-технических направлений подготовки.

Ключевые слова:

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ, ОСНОВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА, ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ, КОМПЕТЕНЦИИ, ПРОФИЛЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Начиная с 2019 года система высшего образования массово осуществляет переход на актуализированные федеральные государственные образовательные стандарты, профессиональная деятельность становится нормативно закрепленным основанием для проектирования содержания профессионального образования.

Необходимо отметить, что актуализированные ФГОС содержат два перечня обязательных компетенций, которые должны быть сформированы у выпускника вуза – универсальные и общепрофессиональные компетенции. Особенностью этого поколения стандартов является то, что универсальные компетен-

ции (УК) для всех уровней подготовки структурированы по категориям, имеющим одинаковое наименование. Однако, с точки зрения содержания, формулировка компетенций, относящихся к одной категории, отличается в зависимости от уровня подготовки, в первую очередь, результатами, достигаемыми в ходе их формирования (таблица 1) [1]. Общее число категорий – 7 для бакалавриата и специалитета, и 6 для магистратуры, поскольку на этом уровне отсутствует категория «Безопасность жизнедеятельности», в категории «Самоорганизация и саморазвитие (в том числе здоровьесбережение)» отсутствует компетенция УК-7 (Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности).

Формулировка компетенций по уровням подготовки *Таблица 1*

Наименование категории (группы) УК	Код	Бакалавриат	Специалитет	Магистратура
1	2	3	4	5
Системное и критическое мышление	УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
Разработка и реализация проектов	УК-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
…				
Самоорганизация и саморазвитие (в том числе здоровьесбереже-ние)	УК-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки и образования в течение всей жизни	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
	УК-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности	

Вторая группа – общепрофессиональные компетенции (ОПК) – является единой для всех образовательных программ, реализуемых в рамках направления, а в ряде случаев – всей укрупненной группы специальностей и направлений подготовки (УГСН). Наконец, третья группа – профессиональные компетенции - формируется вузами, реализующими программу подготовки, самостоятельно, на основании требований профессиональных стандартов.

Для оптимизации процесса подготовки специалистов по востребованным специальностям и направлениям университеты разрабатывают соответствующие образовательные программы на основании требований, которые предъявляет промышленность к уровню профессиональных компетенций, личностных качеств, а также знаний, умений и навыков, осваиваемых в ходе подготовки специалистов. Перечень таких требований изложен в профессиональном стандарте в формате обобщенных трудовых функций, структура которых включает конкретные трудовые функции и действия, необходимые для эффективного исполнения должностных обязанностей специалиста [2]. Типовая структура, отражающая логику профессионального стандарта, приведена на рис.1 [3].

Согласно статье 195.1 Трудового кодекса Российской Федерации профессиональный стандарт – характеристика квалификации, необходимой работнику для осуществления определенного вида профессиональной деятельности [4]. Кроме того, п.5 ст.2 Закона «Об образовании в РФ» трактует понятие «квалификация» как «уровень знаний, умений, навыков и компетенции, характеризующий подготовленность к выполнению определенного вида профессиональной деятельности» [5]. Таким образом, для успешного проектирования образовательных программ необходима разработка соответствующего «профиля выпускника», имеющего модульную структуру, коррелирующую с набором обобщенных трудовых функций и учитывающую специфику направленности подготовки.

Разработка набора требований к выпускнику, который в дальнейшем становится основой для формирования перечня профессиональных компетенций, особенно актуальна при проектировании программ подготовки по инженерным и технологическим специальностям, т.к. позволяет выделять и обосновывать блоки дисциплин учебного плана. Выделение последних необходимо при проектировании программ, направленных на выполнение задач различных видов деятельности – это, в свою очередь, связано с формированием у выпускника готовности к исполнению организационной, коммуникативной, диагностической и контролирующей функций, являющихся неотъемлемой частью профессиональной деятельности 6-7го квалификационных уровней профессионального стандарта.

В частности, профессиональные стандарты в области материаловедения, химической технологии, производства машин и оборудования включают трудовые функции, связанные с разработкой и организационно-техническим сопровождением модели технологического процесса, методическим обеспечением интеграции технологических процессов, разработкой локальной нормативно-технической документации (рис.2) [6].

Рисунок 1 – Структура профессионального стандарта

Рисунок 2 – *Дескрипторы трудовых функций, определяющих организационно-технический компонент инженерной деятельности*

Поскольку в настоящий момент отсутствуют утвержденные примерные основные образовательные программы, вузам, в соответствии со стандартом, на данном этапе необходимо не только самостоятельно выделять специфические профессиональные компетенции, обязательные для формирования в рамках программы подготовки, но и определять индикаторы достижения сформированности этих компетенций. Аналогичная ситуация складывается с компетенциями, напрямую определенными Федеральными государственными образовательными стандартами, а именно с универсальными (УК) и общепрофессиональными (ОПК) компетенциями. При наличии четких формулировок самих компетенций, единых, в случае УК для всего высшего образования в России, а в случае ОПК - для укрупненной группы специальностей и направлений подготовки, отсутствуют индикаторы их сформированности для конкретных направлений и профилей подготовки. Поскольку в качестве индикаторов примерными образовательными программами преимущественно определены ожидаемые и измеряемые «составляющие» компетенций: знания, практические умения, опыт деятельности, которые должен получить и уметь продемонстрировать обучающийся после освоения той или иной дисциплины (модуля), - в зависимости от направления подготовки, специфики и традиций научных школ образовательной организации, особенностей региональной экономики будут значительно отличаться и ожидаемые результаты освоения образовательных программ.

С одной стороны, это позволяет вузам самостоятельно определять требования к результатам освоения основной образовательной программы, с другой – может привести к деунификации содержания образовательных программ даже в рамках одной укрупненной группы специальностей и направлений подготовки [7], не говоря уже об образовательных программах разных направленностей (таблица 2).

Индикаторы достижения сформированности компетенций Таблица 2

Код и наименование УК	Код и наименование ФГОС	Индикаторы достижения, предлагаемые в проекте ПООП
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	21.03.01 Нефтегазовое дело	Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие, осуществляет декомпозицию задачи; Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки; Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки. Отличает факты от мнений, интерпретаций, оценок и т.д. в рассуждениях других участников деятельности; Определяет и оценивает последствия возможных решений задачи.
	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Выполняет поиск необходимой информации, её критический анализ и обобщает результаты анализа для решения поставленной задачи. Использует системный подход для решения поставленных задач.
УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	21.03.01 Нефтегазовое дело	Понимает эффективность использования стратегии сотрудничества для достижения поставленной цели; Понимает особенности поведения выделенных групп людей, с которыми работает/взаимодействует, учитывает их в своей деятельности; Предвидит результаты (последствия) личных действий и планирует последовательность шагов для достижения заданного результата; Эффективно взаимодействует с другими членами команды, в т.ч. участвует в обмене информацией, знаниями и опытом, и презентации результатов работы команды.
	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Определяет стратегию сотрудничества для достижения поставленной цели. Взаимодействует с другими членами команды для достижения поставленной задачи.

Такая ситуация может привести к снижению академической мобильности обучающихся и возникновению проблем с их дальнейшим трудоустройством. Возможность избежать подобной перспективы предоставляет ориентация на профессиональные стандарты, как определяющий вектор достижения результатов освоения программы. В качестве содержательной базы индикаторов достижения сформированности компетенций могут быть использованы трудовые действия, необходимые для осуществления трудовых функций. Дополнение описания трудовых функций профессионального стандарта дескрипторами, определяющими пороговый, базовый и продвинутый уровни сформированности компетенций, позволят создать законченную систему индикаторов. Ориентируясь на такие индикаторы, преподаватели вузов могу разрабатывать фонды оценочных средств, которые адекватно отражают результаты образовательной деятельности и подготовки по реализуемым в вузе программам.

Основные принципы отбора и структурирования содержания подготовки для различных направлений инженерной деятельности неоднократно рассматривались авторами [8]. Сопряжение учебных планов различных направлений профессиональной инженерной и технологической подготовки в рамках одной образовательной организации предполагает наличие сравнительно небольшого инвариантного ядра (модуля), трудоемкость которого не будет превышать 25% учебного плана, обеспечивающего развитие общих интеллектуальных, познавательных умений, способностей, гражданских качеств личности. Кроме того, этот модуль нацелен на формирование компетенций организационного компонента в структуре инженерной деятельности – знаний и умений в области анализа и организации труда как отдельного индивидуума, так и структурного подразделения, а также управления промышленным производством.

Преобладающая вариативная часть учебного плана позволяет учитывать потребности отрасли, профессиональную специфику, индивидуальные запросы обучающихся и особенности региона, являющегося основным потребителем выпускников образовательной организации.

Таким образом, в качестве основного фактора обновления профессионального образования выступают запросы экономики и социальной сферы, науки, техники, технологий, федерального и территориальных рынков труда, а также перспективные потребности их развития. Оптимальная система профессионального образования должна быть выстроена с учетом результатов прогнозирования потребностей рынка труда в кадрах различной квалификации, международных тенденций и рейтинга российских организаций профессионального образования. Данные положения в полной мере отражены в профессиональных стандартах, разработка и внедрение которых дает возможность работникам, работодателям, системе профессионального образования в целом получить содержательную основу для обновления образовательных программ в соответствии с изменяющимися требованиями профессиональных стандартов, для разработки учебных планов, модулей и методических материалов по дисциплинам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования [Электронный ресурс]. URL: http://fgosvo.ru/fgosvo/151/150/24 (дата обращения 14.04.2020).
2. Куликова Д.И., Рязапова Л.З., Хайруллин Р.З., Самарин Е.В., Кудосов А.А. Профессиональный стандарт как необходимый элемент подготовки высококвалифицированного специалиста для наноиндустрии // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 4. С. 353-355.
3. Китаева Л.А. Проектирование и реализация основных образовательных программ в области нефтегазохимии на основе анализа профессиональных стандартов // Новые стандарты и технологии инженерного образования: возможности вузов и потребности нефтегазохимической отрасли, СИНЕРГИЯ-2017: сборник докладов и научных статей международной сетевой конференции. – Казань: Издательство «Бронто», 2017. С. 178-183.
4. Трудовой кодекс Российской Федерации / КноРус, Проспект, 2013.- 224с
5. Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 06.03.2019) "Об образовании в Российской Федерации".
6. Реестр профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ [Электронный ресурс]. URL: http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/archive.php (дата обращения: 14.04.2020).
7. Реестр примерных основных образовательных программ высшего образования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: http://пооп.рф/projects (дата обращения: 14.04.2020).
8. Дьяконов Г.С., Башкирцева Н.Ю., Журавлева М.В., Рязапова Л.З., Хайруллина Э.Р. Непрерывная профессиональная подготовка кадров в региональном интегрированном образовательном комплексе нефтехимической отрасли. Казань: Центр инновационных технологий, 2009. – 248с.

УДК 37.063

Макарова И.А., Прохоров В.Ю.

ГБПОУ МО «Пушкинский лесо-технический техникум», Московская обл., Пушкинский р-н, п. Правдинский

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ. МЕТОД CASE STUDY В ПРЕПОДАВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

В статье описывается применение кейс-технологии в преподавании технических дисциплин. Представлена разработка практического занятия с использованием метода конкретных ситуаций по теме «Расчет на прочность при осевом растяжении-сжатии».

Ключевые слова:

МЕТОД КОНКРЕТНЫХ СИТУАЦИЙ, КЕЙС-ТЕХНОЛОГИЯ, ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ, ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

"Три качества - обширные знания,
привычка мыслить и благородство
чувств - необходимы для того, чтобы
человек был образованным в полном
смысле этого слова." Н.Г.Чернышевский

Важность и нужность образования, как и необходимость постоянно повышать его качество, переоценить невозможно. Общество продолжает динамично изменяться. Новые условия порождают образовательные потребности и служат стимулом их развития в новом, более инновационном контексте.

Актуальность технологических вопросов реализации федеральных государственных образовательных стандартов общего образования второго поколения (далее – ФГОС) не оставляет сомнений [1]. Современный преподаватель призван проектировать образовательный процесс с помощью опоры на обновленное содержание предмета, на новое целеполагание и - главное - на планируемые результаты освоения образовательной программы [2, 3].

Успешность проектировочной деятельности педагога в значительной мере зависит от создания в образовательном учреждении эффективно действующей системы инновационных педагогических технологий, выступающих средством достижения нового образовательного результата. Технологическая компетентность преподавателя особенно важна в контексте системно-деятельностного подхода, являющегося основой методологии нового стандарта образования.

Использование **педагогами** активных методик, интенсивных образовательных и информационных технологий, меняет привычную роль преподавателя в учебном процессе, как транслятора знаний. Это изменяет традиционный образовательный процесс и отношения между его участниками. Существенное преимущество этих технологий в том, что они предоставляют новые возможности не только преподавателю, но и студенту [4]. Студент из объекта обучения превращается в субъект обучения, осознанно участвующий в процессе учебы и самостоятельно принимающий решения, связанные с ним.

Сейчас в педагогике очень востребовано понятие «субъект-субъектные отношения». Это означает, что и обучающийся, и обучающий в равной степени чувствуют себя субъектами своей деятельности, носителями активности, и в равной степени воздействуют на мир с целью реализации своих интересов.

В настоящее время в практике как высшего, так и среднего профессионального образования активно используется неигровой имитационный активный метод обучения – (метод case-study) – метод активного проблемно-ситуационного анализа, основанный на обучении путем решения конкретных задач – ситуаций (решение кейсов).

Метод Case Study (метод конкретных ситуаций) впервые был применен в учебном процессе в школе права Гарвардского университета (США) в 1870 году. Внедрение этого метода в Гарвардской школе бизнеса началось в 1920 году. Первые подборки кейсов были опубликованы в 1925 году в Отчетах Гарвардского университета о бизнесе. Наиболее широко использование метода case-study в обучении экономике, менеджменту и бизнесу за рубежом. В настоящее время сосуществуют две классические школы case-study – Гарвардская (американская) и Манчестерская (европейская). В рамках первой школы целью метода является обучение поиску единственно верного решения, вторая – предполагает многовариантность решения проблемы.

Метод case-study (или, как писали в двадцатые годы, «метод казусов») был известен преподавателям экономических дисциплин в нашей стране еще в 20-е годы прошлого столетия. В сентябре 1926 года состоялась конференция преподавателей по экономическим дисциплинам в совпартшколах, но метод не приняли, как «несоветский». В России активно применять кейс метод в обучении стали в 80-х гг., сначала в МГУ, а затем в академических и отраслевых институтах, позднее - на специальных курсах подготовки и переподготовки [5, 6]. В последнее время он находит широкое распространение в изучении медицины, юриспруденции, математики, в дистанционном обучении, в школьном образовании и других науках. В педагогике этот метод также может найти широкое применение. Отличие его от педагогических задач лишь в тщательности и подробности описания ситуации для кейса [7].

Непосредственная цель метода case-study – проанализировать ситуацию как индивидуально, так и в составе группы – кейс, возникающую при конкретном положении дел; выявлять ключевые проблемы, генерировать альтернативные пути решения

и оценивать их, выбирать оптимальное решение и формировать программы действий.

Помимо этих целей при применении анализа ситуаций достигаются и дополнительные эффекты: обучаемые - получают коммуникативные навыки; развивают презентационные умения; формируют интерактивные умения, позволяющие эффективно взаимодействовать и принимать коллективные решения; приобретают экспертные умения и навыки; учатся учиться, самостоятельно отыскивая необходимые знания для решения ситуационной проблемы.

Учебным планом дисциплины «Техническая механика» в Пушкинском лесо-техническом техникуме на самостоятельную работу студентам отводится достаточно большое количество часов (60 час.). Студенты изучают дисциплину «Техническая механика» на втором курсе.

Большинство из них не может правильно организовать свою самостоятельную деятельность. Студенты не владеют методами принятия решений. Имея небольшой запас знаний и навыков расчета, они могут только решать задачи по образцу и не могут анализировать результаты своих расчетов.

Использование кейс-технологии призвано научить будущих профессионалов подходить к решению типовых задач творчески, анализировать результаты расчетов, делать выводы и предлагать свои варианты для решения проблемы.

Стандартные расчетные задания по технической механике подобраны так, что имеют одно решение и один правильный путь, приводящий к этому решению. Задания в рамках кейс-технологии должны иметь несколько решений и несколько путей, приводящих к новым результатам. Студенты, имея даже небольшой запас знаний по теме, должны научиться применять формулы и методики расчета в различных ситуациях, приближенных к их дальнейшей профессиональной деятельности.

Таким образом, будущие специалисты учатся анализировать информацию, приобретают навыки критического мышления, применяют теоретические знания на практике.

Педагогу при разработке задания с использованием кейс-технологии нужно проанализировать информацию по изучаемой теме, подобрать задания, связанные с будущей профессиональной деятельностью студентов, продумать различные пути решения, оценить их.

Например, тема «растяжение и сжатие», согласно рабочей программе дисциплины «Техническая механика», позволяет представить основные методики расчета на прочность и жесткость. При изучении темы преподаватель на лекциях и практических занятиях рассматривает типовые проектные задачи, задачи на определение грузоподъёмности, задачи проверочного типа.

Занятие с элементами кейс-технологии проводится для закрепления алгоритма расчета и для применения его в нетиповой ситуации. Занятие рассчитано на 90 минут. Студенты работают в группах по три-четыре человека, имеют возможность обмениваться информацией.

Каждой рабочей группой получено своё задание. У каждой подгруппы – разные расчетные схемы. На расчетной схеме представлена жесткая балка, которая закреплена с помощью шарнирно-подвижной опоры и двух стальных стержней, у которых одинаковое сечение и разная длина [8]. Студентам предлагается рассмотреть несколько вариантов проектирования. Первый вариант – балка подкрепляется одним стержнем. В этом случае надо рассматривать две ситуации – подкрепление первым или вторым стержнем. Второй вариант проектирования предполагает подкрепление балки двумя стержнями одновременно. В обоих вариантах расчета необходимо определить грузоподъемность, сравнить результаты и сделать вывод.

Сечение стержней, длина стержней, материал для каждой подгруппы задаётся отдельно. Пример задания представлен на рис.

Работа в подгруппе начинается с распределения вариантов.

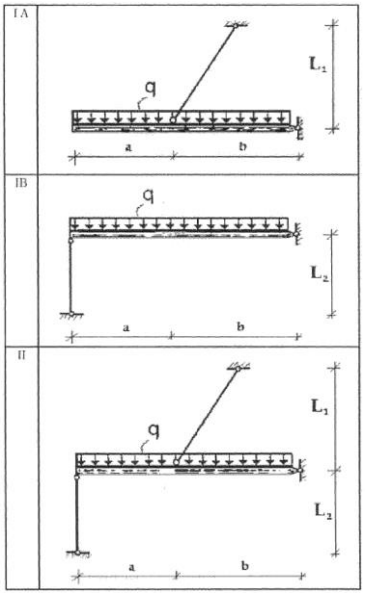


Рисунок - Варианты проектирования

Студенты выполняют расчеты, проверяют расчеты совместно. Анализируя результаты, могут быть получены разные решения. Например, может получиться, что выигрыш в силе при предложенном преподавателем варианте проектирования при подкреплении двумя стержнями будет незначительным по сравнению с вариантом подкрепления одним стержнем. В этом случае студенты могут представить свой более выигрышный вариант подкрепления балки стержнями и рассчитать выигрыш в грузоподъемности. Вывод также может быть представлен в нескольких вариантах: насколько больше, во сколько раз больше, выигрыш в нагрузке в процентном отношении.

В нашем случае применение кейс-метода выступает как разновидность проектной технологии. Позитивную мотивацию у студентов вызывает активная деятельность всех членов подгруппы, возможность коммуникации внутри подгруппы. Работа с кейс-технологией позволяет студентам отработать элементы реальной рабочей ситуации.

Именно поэтому применение задач с элементами кейс-технологии возможно только после изучения студентами основного материала по теме. Для этого необходимо сначала в традиционной форме представить информацию на лекции и практических занятиях. Рассматривать конкретные ситуации можно для закрепления навыков расчета.

Преподаватель планирует занятие, готовит варианты проектирования, прописывает основные этапы работы над заданием. В процессе работы консультирует подгруппы, контролирует процесс выполнения работы, помогает выстроить логическую схему решения проблемы, оценивает деятельность каждого участника подгруппы

Задания необходимо подбирать так, чтобы оно было по силам студентам с разным уровнем подготовленности к самостоятельной работе.

Кроме того, преподаватель эмоционально поддерживает студентов в течение всего процесса обучения, создаёт обстановку сотрудничества и конкуренции одновременно.

Задание, предложенное студентам, необходимо для обучения анализу, оценке и принятию решения в конкретной ситуации.

Учитывая рекомендации к составлению и наглядности кейс-заданий, задание представлено в печатном виде на одной странице в виде таблицы с описанием этапов работы. Для погружения в работу преподаватель рассказывает конкретный ситуацию: «Вам необходимо выполнить подкрепление жесткой балки. В нашем случае это может быть модель небольшого мостика. Выполнить подкрепление можно и без расчетов, но в этом случае, Вы, как руководитель работ, в случае неудачного варианта подкрепления будете нести материальную ответственность за использованные ресурсы – материал для

подкрепляющих стержней, труд наемных рабочих. Чтобы быть уверенным за правильность подкрепления и рассчитывать на премию за рациональное использование представленных Вам ресурсов, необходимо выполнить расчет и проанализировать различные варианты. Учтем особенность нашей работы по группам. Обсуждение ведем тихими голосами. Стараемся работать синхронно, не мешая соседним подгруппам».

Опыт показывает, что небольшая предыстория в начале работы настраивает студентов позитивно.

Для успешной работы студентов в предложенной конкретной ситуации создателю кейс-задания необходимо определить место данного занятия в структуре учебной дисциплины, сформулировать задания по анализу ситуации и пояснительную записку для преподавателя.

В пояснительной записке разработчик занятия должны указать рекомендации по разбору ситуаций, приложить образец решения одного задания, написать рекомендации по методике проведения занятия.

Разработанное нами занятие включает в себя следующие этапы: ознакомление студентов с текстом кейса, литература: решение кейса, организация обсуждения кейса, оценивание участников дискуссии, подведение итогов работы.

Студенты с кейсом знакомятся на практическом занятии, потому что теоретические основы и методы расчета на прочность при осевом растяжении – сжатии уже были прочитаны и проработаны студентами на практических занятиях при решении задач. Эффективность деятельности преподавателя, реализующего метод кейс-стади в своей педагогической практике, связана с соблюдением ряда принципов:

-принцип партнерства, сотрудничества;

-принцип смещения роли преподавателя с трансляции и «разжевывания» знаний к организации процесса их добывания – снижение роли преподавателя как единственного «держателя» знаний, возрастание его роли как эксперта и консультанта, помогающего студенту ориентироваться в мире научной информации;

-принцип творчества, который предполагает превращение кейса и занятия с его применением в индивидуально неповторимый творческий продукт (вовлечение в творчество студентов, усиление роли творческой импровизации в ходе обучения и т.п.)

Педагогический потенциал кейс-метода значительно больше педагогического потенциала традиционных методов обучения. Наличие в структуре кейс-метода споров, дискуссий, аргументации тренирует участников обсуждения, учит соблюдению норм и правил общения. Практически любой преподаватель, который пожелает внедрять кейс-технологии, имея на руках руководство и набор ситуаций, сможет это сделать вполне профессионально. Тем не менее, Не стоит полагать, что «кейсы» могут заменить изучение нового материала, теорию, лекции. Их подготовка и методика отработки требуют много времени. Задания выполняются непросто, что может отпугнуть от них некоторых обучающихся. Кейсы более наглядно показывают, как на практике применяются теории.

Наибольшего эффекта можно достичь при системном подходе к выбору традиционных и инновационных технологий обучения, при их разумном сочетании, дополнении друг друга и при эффективном руководстве групповой и межгрупповой дискуссией. Достичь эффективности обучения с помощью интерактивных технологий, к которым относится метод анализа ситуаций, можно лишь в тех случаях, когда сам преподаватель является грамотным коммуникатором, в совершенстве владеет игротехническим менеджментом. Именно эти характеристики дают возможность современному преподавателю быть конкурентноспособным, быстро овладевать не только новейшей теоретической информацией, но и прогрессивными технологиями.

Использование педагогами активных методик, интенсивных образовательных и информационных технологий, меняет привычную роль учителя в учебном процессе, как транслятора знаний. Это изменяет традиционный образовательный процесс и отношения между его участниками. Современный педагог наряду с традиционной функцией, осваивает роли оператора, координатора, администратора, эксперта, модератора и тьютора. При этом в его деятельности усиливается роль психологических знаний, без которых проектирование современного образовательного процесса, ориентированного на развитие личности и ее способностей, не достигнет гарантированно качественного результата – успешной социализации. Заметно меняется стиль общения с обучаемыми: авторитарность сменяется партнерскими отношениями, авансировано доброжелательным стилем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прохоров В.Ю. Итоговая государственная аттестация: учеб. пособие // В.Ю. Прохоров, В.В. Быков, И.Г. Голубев и др. – М. : ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2013. – 211 с.

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

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

4. Макарова И.А. Человек - источник ресурсов. Участники образовательного процесса. Путь преодоления кризиса в образовании. Труды международного симпозиума Надёжность и качество. 2014. Т. 1. С. 334.

5. Полухина А.К. Кейс как средство контроля в учебном процессе / Сидоров С.В. Сайт педагога-исследователя.

6. Маргвелашвили Е. О месте "кейса" в российской бизнес-школе // Обучение за рубежом. № 10. 2000.

7. Смолянинова О.Г. Дидактические возможности метода case-study в обучении студентов: Сб. "Инновации в российском образовании". М., 2000.

УДК 681.3

Ципина Н.В., Карпухин Д.Н.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ПОИСКА И ПОДБОРА РАДИОКОМПОНЕНТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ

В данной статье рассматривается комплексный подход к проблеме оптимизации поиска и подбора радиокомпонентов в электрической схеме. Любой разработчик, реализующий сегодня какой-либо проект, сталкивается с трудностью нахождения элементной базы для свободного и правильного интегрирования их в своё изделие. Целью данной статьи является описание методики, по которой любая организация сможет создать у себя на предприятии простую базу данных, которая в свою очередь, позволит оптимизировать процесс подбора компонентов и тем самым, снизить затрачиваемое время на их поиск.

Ключевые слова:

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПОИСКА, КЛАССИФИКАТОР, БАЗА ДАННЫХ, РАЗРАБОТКА, ДИРЕКТОРИИ

Введение. При проектировании современных радиоэлектронных средств (РЭС), инженер-разработчик на этапе ознакомления с рынком затрачивает значительные ресурсы времени на поиск и подбор нужной элементной базы.

Проблемой является то, что на многих предприятиях выпускающих военную продукцию нет постоянного доступа к интернет на рабочем месте, и для выполнению поставленной задачи приходится переходить в специально оборудованный кабинет для выхода в интернет. Конечно, для небольших проектов вполне подходит это решение, и все необходимое будет возможно найти в любом удобном браузере. Для таких целей существуют платформы специально предназначенные для поиска электронных компонентов. Эти инструменты действительно могут помочь сэкономить много времени [1,2]. Впроцессе проектирования РЭС необходимо учитывать комплексный подход для подбора компонентов [3,4,5]. На данный момент их насчитывается более десятка и этот список постоянно пополняется. Подобные платформы можно разделить на отечественные Efind, Chipfind, Optofind и др. (efind.ru, chipfind.ru) и зарубежные Digikey, Mouser и др. (mouser.com, digikey.com). Но если проект более трудоемкий, и структура схемы сложнее, то возникает потребность в создании собственной базы данных не требующей постоянного выхода в интернет, с возможностью внесения или замены устаревших компонентов, на более новые.

В статье приведен алгоритм (Рисунок 1), по которому следует разработчик от получения технического задания, до изготовления опытного образца. Из анализа следует, что существенные затраты времени происходят на этапе ознакомления с рынком. Для снижения потерь времени, будет полезна разработка методики, которая поможет снизить трудоемкость на этапе подбора радиокомпонентов.

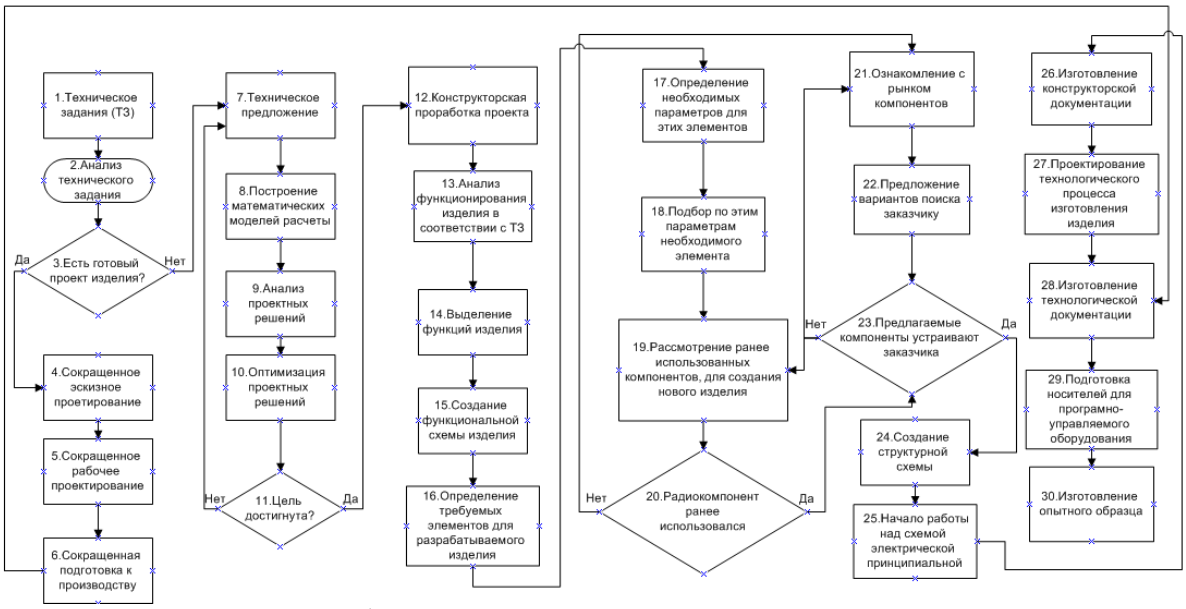


Рисунок 1 – Алгоритм проектирования нового изделия

Для решения задач оптимизации используются следующие подходы:

1. Использование готовой базы радиокомпонентов. В теории возможно сделать запрос компании производителю на предоставление базы компонентов с её последующей интеграцией на свое предприятие. Плюсом данного способа является быстрое решение поставленной задачи. Минусами являются большие интеллектуальные затраты в организации мероприятия, привязка к одной фирме, что ограничивает возможность использование более подходящих вариантов других производителей и не гарантируется положительное решение по запросу.

2. Разработка собственной базы радиокомпонентов, способной удовлетворить все запросы инженеров разработчиков. Решением этой задачи является создание своей базы, которая представляет собой многоуровневый классификатор на базе таблицы Excel, предназначенный для более быстрого поиска компонентов, в нем будет реализована возможность, открытия через ссылку документации на тот или иной компонент и перехода по ссылкам в библиотеки таких продуктов как Altium, P-CAD и другие САПР. Так же это дает возможность, предприятиям у которых нет свободного доступа в интернет на личном рабочем месте, не вставая с этого места, получить доступ к компонентам и тем самым сэкономить затрачиваемое время. На рисунке 2 представлен алгоритм предлагаемой концепции.

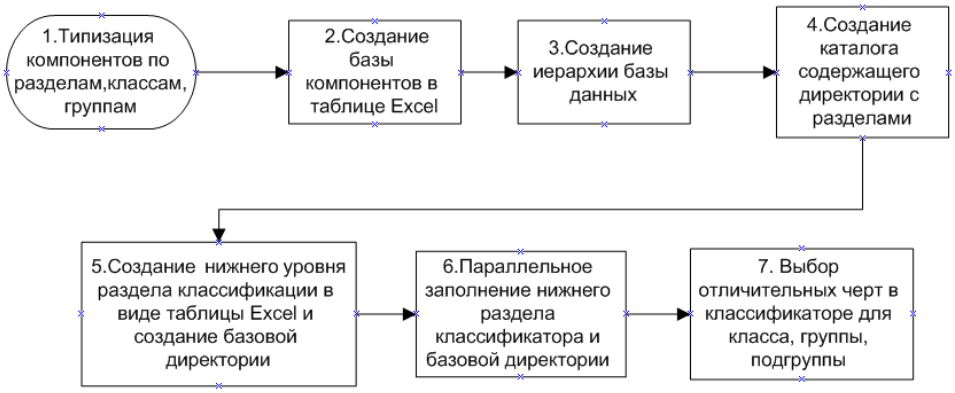


Рисунок 2 – Алгоритм создания базы данных на основе таблицы Excel

Шаг 1. Все элементы, содержащиеся в базе радиокомпонентов, должны быть классифицированы по разделам, классам и, если необходимо, по группам и подгруппам по логическому предназначению.

Шаг 2. База компонентов представляет собой файл в формате Microsoft Excel осуществляющего упрощения поиска необходимых файлов и директорий при помощи гиперссылок.

Шаг 3. Создание каталога базы данных содержащего директории.

Шаг 4. Разделение директорий на более низкие уровни (Класс, группа, подгруппа).

Шаг 5. Для каждого нижнего уровня в классификаторе, должен быть организован отдельный лист в виде таблицы Excel. На нем должны быть размещены записи компонентов. Каждая запись содержит: название производителя, наименование компонента, ссылку на документацию (ТУ, datasheet и т.п), ссылку на библиотеки САПР (Altium, P-CAD и т.д), параметры компонентов (ток, напряжение, рассеиваемая мощность, интерфейсы и т.п) по которым осуществляется подбор подходящего. Параметры компонентов следует выбирать характерные для заданной группы. Так же запись может содержать элементы необходимые для выполнения задач организации (наименование изделия, где применялись компоненты, реквизиты исполнителя и руководителя и т.п) [6].

Одновременно происходит создание базовой директории, содержащей самый низкий логический уровень деления.

Каталоги в этой директории должны соответствовать разделам классификатора.

Например: если библиотека компонентов P-CAD общая на весь базовый уровень она должна содержаться в директории «Библиотека P-CAD» расположенном в базовой директории; если datasheet разделены по производителям, для каждого производителя должна быть организована своя директория внутри папки datasheet, также рекомендуется для серии компонентов и конкретного компонента создавать свои директории на тот случай если будет информация общая на серию или несколько datasheet на один радиокомпонент.

Шаг 6. Заполнение базовой директории и нижнего раздела классификатора файлами.

Шаг 7. Для наглядности деления базы данных, логический уровень, содержащий базовые директории, должен быть выделен цветом отличным от других уровней содержащих базовые директории.

Заключение: Таким образом, в данной статье была затронута тема оптимизации времени на поиск и подбор радиокомпонентов. Разработана методика позволяющая реализовать практически любому человеку не обладающим продвинутым уровнем программирования с помощью бесплатных ПО (OpenOffice, LibreOffice и др.) универсальную базу данных, которой не требуется выход в интернет для работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интеграция в процессе производства устройства для проверки целостности электрических цепей/ Н.В. Ципина, Д.Д. Чеснаков, А.В. Степанова// Труды международного симпозиума надежность и качество, Издательство: Пензенский государственный университет (Пенза). 2018. Т. 2. С. 64-66.

2. Моделирование механических характеристик многослойных печатных плат средствами CAE анализа / З.Х.М. Аль-Араджи, А.В. Муратов, А.В. Турецкий, Ю.В. Худяков // Труды международного симпозиума надежность и качество, Издательство: Пензенский государственный университет (Пенза). 2018. Т. 1. С. 224-227.

3. Макаров О.Ю. Комплексное моделирование и оптимизация характеристик в процессе конструкторского проектирования радиоэлектронных средств / О.Ю.Макаров, А.В.Турецкий, Н.В.Ципина, В.А.Шуваев // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2015. Т. 11. № 6. С. 100-104.

4. Макаров О.Ю. Комплексный подход к решению задач анализа и обеспечения тепловых характеристик при проектировании РЭС / О.Ю.Макаров, Н.В.Ципина, В.А.Шуваев // Радиотехника. 2017. № 6. С. 166-170.

5. Иванов С.В. Методы тестирования и испытаний в системе качества ISO 9000 / С.В. Иванов, В.Н. Хорошилов, Н.В. Ципина // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2004. № 4-4. С. 41-48.

6. Дергачева Л.М. Изучение технологии создания, хранения и поиска информации в базе данных // Вестник Московского городского педагогического университета. 2008. № 13. С. 15-21.

УДК 004.5

Аксенов[1] А.С., Алексеев[2] В.В., Вагин[1] В.В., Власов[1] Ю.А.,Краюхин[1] С.Б., Залозный[1] Н.В.

[1]Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный), Тамбов, Россия

[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия

ИНФОРМАЦИОННАЯТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Проведён анализ учебно-тренировочных средств, применяемых в процессе освоения систем специального назначения, в результате которого была выявлена потребность в новых подходах к реализации информационных технологий построения мультимедийных УТС.

Была сформулирована универсальная структура архитектуры построения учебно-тренировочного средства обеспечивающая гибкость и высокую функциональность, позитивно влияющую на взаимодействие программной и аппаратных частей, позволяющих улучшить как внешнюю, так внутреннюю оперативную обратную связь.

С целью устранения распространённых недостатков в архитектуре и графическом интерфейсе моделируемых объектов к применению были рекомендованы определённые методы построения модели, в зависимости от конкретного объекта моделирования, а так же даны рекомендации по организации контроля и оценки создаваемых объектов компетентными лицами.

Помимо недостатков в интерфейсе моделируемых объектов во многих мультимедийных УТС была выявлена проблема в обеспечении интерактивного взаимодействия обучаемого с УТС. С целью её решения были внесены изменения в применяемую технологию обеспечения режима интерактивности, основанные на отображении логических связей между результатами выполненных действий пользователем.

Ключевые слова:

УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНОЕ СРЕДСТВО, СИСТЕМА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

В качестве одного из приоритетных направлений подготовки операторов систем специального назначения (ССН)является широкое применение, в процессе их освоения, учебно-тренировочных средств (УТС). Для повышения эффективности применения УТС необходимо совершенствование информационных технологий их построения, развитие форм и методов освоения с их использованием.

Применение виртуальных моделей реального оборудования, технологических процессов, различного рода аварийных и нештатных ситуаций в мультимедийных УТС позволяет многократно воспроизводить те или иные режимы работы, условия, не затрачивая при этом ресурсов настоящего оборудования и не подвергая опасности персонал.

Узконаправленность, с точки зрения предметной области, учебно-тренировочных средств порождает их многообразие.

Различные подходы к построению и особенности взаимодействия программной и аппаратной частей значительно влияют на производительность и эффективность УТС. В связи с этим возникает потребность в разработке информационной технологии построения универсальной архитектуры УТС, способствующей повышению качества образовательного процесса.

В свою очередь практика применения мультимедийных учебно-тренировочных средств позволила выявить общие недостатки в архитектуре и графическом интерфейсе построения, а так же адекватности моделируемых объектов и процессов.

На основе анализа были сформулированы новые основные подходы к реализации информационных технологий построения мультимедийных учебно-тренировочных средств.

Анализ применяемых в процессе освоения ССН учебно-тренировочных средств позволил выделить основные принципы в построении, на основе которых была сформулирована универсальная типовая структура, которая представлена на рисунке 1.

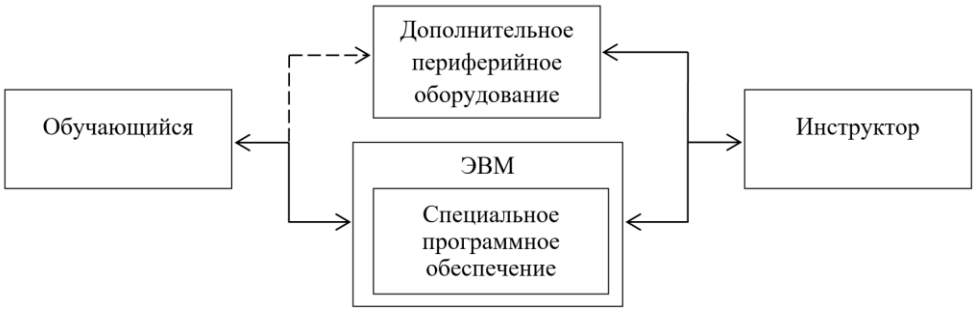


Рисунок 1 - Структура учебно-тренировочного средства

Схема показывает взаимосвязь обучаемого с компонентами УТС. В её основе стоит электронная вычислительная машина, которая представляется как персональным компьютером, так и сложным, многопроцессорным имитирующим устройством со специальным программным обеспечением, реалистично отражающим взаимодействие компонентов систем и моделируемый процесс.

Дополнительное периферийное оборудование представляет собой технические средства, предназначенные для повышения реалистичности моделируемой окружающей обстановки или документирования процесса тренировки. Обучаемый непосредственно взаимодействует с обучающей системой с учётом установленных программой подготовки требований и сценариев тренировки.

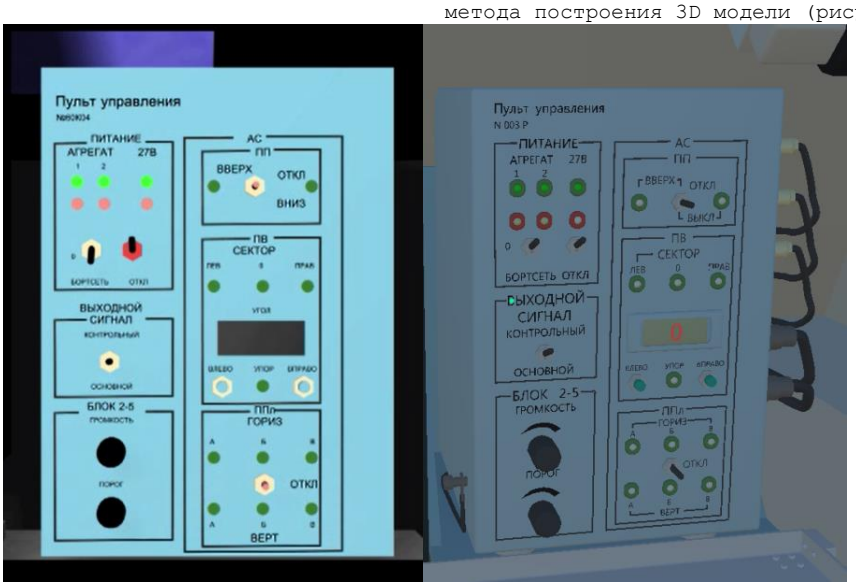
Подобный вариант архитектуры отражает универсальность и гибкость УТС. Что непосредственно позитивно отражается на его эффективности в процессе освоения ССН.

Оценивая качество интерфейса при построении мультимедийных учебно-тренировочных средств, к одной из распространённых ошибок следует отнести некорректное или не точное моделирование органов управления и контроля основных и вспомогательных систем объекта освоения [1].

Профессионально-важные компетенции, формируемые при работе с УТС, должны по своей психологической структуре соответствовать реальным трудовым навыкам, что невозможно без адекватного отражения внешнего вида оборудования, расположения переключателей и тумблеров, особенностей индикации и сигнализирующих устройств. Недостоверность графического интерфейса способствует дезориентации пользователя при работе на реальном оборудовании, осознанию его функциональности и сложности.

Анализ предметной области показал, что качество и достоверность моделируемого объекта зависит от двух основных критериев: применяемого разработчиком метода построения модели и способа контроля качества со стороны заказчика. Рассматривая первый критерий, следует отметить, что методы построения виртуальных объектов разнообразны, каждому методу соответствует своя особенность в сложности применяемых инструментов, временных ресурсах и реалистичности готового объекта [3].

Анализ низкокачественных интерфейсов применяемых в мультимедийных УТС позволил выявить основные причины, заключающееся в неправильной оценке визуальных параметров объекта, подлежащего моделированию, а так же неверное применение метода построения 3D модели (рисунок 2).



а) б)

Рисунок 2 - Виртуальные модели пульта управления: а) низкокачественный интерфейс б) качественный интерфейс

Учитывая особенности типа поверхностей имитируемых органов управления, для эффективного отражения и качественного восприятия пользователем объектов рекомендуется применение различных видов полигонального метода моделирования. Данный метод позволяет создавать объект любой сложности путем выполнения различных манипуляции с сеткой 3D объекта на уровне подобъектов: вершин, ребер, граней, объединённых в полигоны.

Рассматривая второй критерий, следует отметить, что участие в каждом этапе разработки интерфейса компетентного лица со стороны заказчика, владеющего навыками применения реального объекта, значительно повышает качество моделируемой модели. Поэтому учитывая сложность разработки 3D моделей, с целью предотвращения графических недостатков в построении необходимо обеспечить детальный контроль со стороны заказчика за процессом и этапами моделирования интерфейса объекта.

Помимо недостатков в интерфейсе моделируемых объектов во многих мультимедийных УТС существует проблема в обеспечении интерактивного взаимодействия обучаемого с УТС. Интерактивный режим взаимодействия заключается в том, что каждое действие пользователя в УТС вызывает ответное действие программы, которое требует следующего действия пользователя [4]. Например, включение на пульте управления тумблеров сопровождается индикацией на приборной панели светодиодов (в зависимости от положения тумблера высвечивается определённый цвет).

Рассматриваемая технология программируется таким образом, чтобы при воздействии на смоделированные элементы управления отображались соответствующие органы контроля, а правильная последовательность таких действий приводила к успешному результату выполнения задания (рис.3).

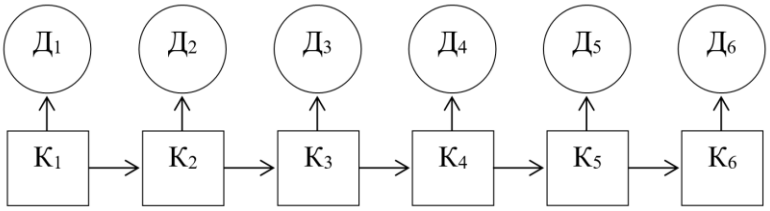


Рисунок 3 - Стандартный алгоритм с применением интерактивного режима

На рисунке, $К_n$ обозначает действе на органы управления (кнопки, тумблеры и т.д.), $Д_n$ – результат осуществления манипуляции с органом управления (свет индикатора, изменение положения рычагов и т.д.). Пользователь с целью правильного выполнения задания должен совершить действия со всеми органам управления в строго определённом порядке, от $К_1$ до $К_6$. Как правило, оценивающая система подобных типов мультимедийных УТС спрограммирована так, что на итоговую оценку влияют два критерия: правильная последовательность и количество выполненных действий ($К_n$), при этом индикация органов контроля, как результат выполненных действий не влияет на результат, оценку и другие процессы.

Таким образом, получается, что пользователь обучается правильному алгоритму действий при работе со сложной системой и на каждом этапе наблюдает соответствующую обратную связь программы, что способствует заучиванию порядка выполнения и освоения отдельных действий.

Подобный подход применения технологии несовершенен и малоэффективен. Отсутствие логической взаимосвязи между результатами действий ($Д_n$) не отражает глубину и взаимосвязь элементов как это выполняется в реальной сложной системе.

Для максимального интерактивного погружения необходимо спрограммировать не только взаимосвязь действий, но и результаты совершенных на органы управления манипуляций.

Например, в радиоэлектронном модуле помех выключение дизельной генераторной установки (ДГУ) способствует отключению электропитания всех систем модуля, что отражается не только на индикаторе пульта управления ДГУ, но и индикаторах всех запитанных в сеть устройств.

Однако действуя согласно алгоритму, отображённому на рисунке 3, выключение ДГУ в мультимедийном УТС спровоцирует реакцию соответствующего индикатора на его панели управления, но никаким образом не повлияет на другие электрические приборы модуля.

Таким образом, необходимо применение технологии интерактивности с учётом логических связей результатов действий пользователя по принципу, отраженному на рисунке 4.

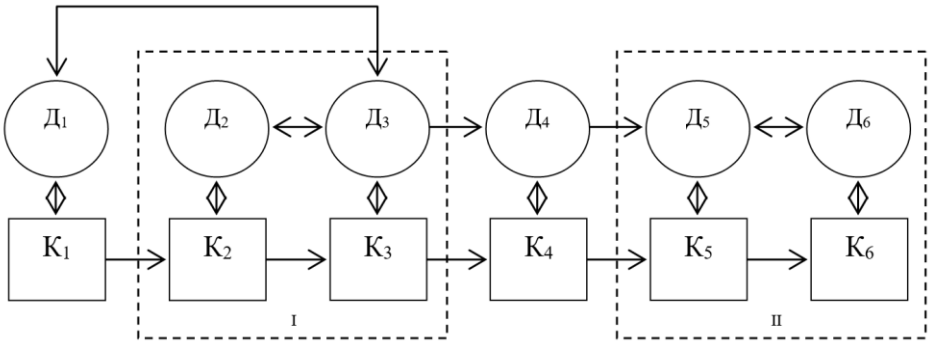


Рисунок 4 - Алгоритм с применением режима интерактивности с учётом логических связей результатов действия пользователя

В данной модели предусматривается два вида взаимосвязи между результатами действий($Д_n$): односторонний и двусторонний. В первом случае результат одного действия влияет на результат другого без ответного влияния. Во втором случае изменения результатов одного могут отразиться на обоих вариантах.

Некоторые действия могут объединяться в группы с установлением особого приоритета выполнения. Так, последовательность действий группы I ($К_2$ и $К_3$) обязательно должна предшествовать группе II ($К_5$, $К_6$), нарушение порядка будет способствовать прекращению этапа обучения и возврату в начало, поскольку аналогичная последовательность действия на реальном объекте может привести к системной ошибке или аварийной ситуации.

Например, процесс запуска ДГУ модуля помех включает в себя в первую очередь действия по проверке крышек для выхода выхлопных газов и крышек воздушных фильтров, затем действия с ор-

ганами управления топливной системы, а лишь после этого работу с пультом управления. Нарушение порядка групп действия неминуемо приведет к ошибке запуска.

Таким образом, с целью совершенствования реалистичности и адекватности имитируемых процессов необходимо при моделировании и программировании учитывать взаимосвязь не только выполняемых действий, но и их результаты.

В свою очередь, с применением нового подхода следует внести изменения в информационную технологию оценивания и контроля действий обучаемого. Обязательным критерием должна быть правильность состояния органов управления на основе индикации органов контроля мультимедийного УТС. Такой подход позволит обеспечить объективную и справедливую оценку действий оператора.

Применение мультимедийных учебно-тренировочных средств оказывает значительное влияние на организацию деятельности обучаемых, позволяет достигать высокого уровня индивидуализации обучения, строить его в соответствии с возможностями каждого оператора. Однако максимальная эффективность освоения ССН и закрепления уже сформированных профессиональных компетенций будет достигаться в случае применения качественного и адекватного интерфейса мультимедийного УТС. Достижение такого результата возможно благодаря применению разработчиком определённого метода построения модели, в зависимости от конкретного объекта моделирования, а так же качества контроля и оценки создаваемых объектов компетентными лицами.

Разработанная универсальная структура архитектуры построения учебно-тренировочного средства обеспечивает гибкость и высокую функциональность, позитивно влияющую на взаимодействие программной и аппаратных частей, позволяющих улучшить как внешнюю, так внутреннюю оперативную обратную связь.

В связи с тем, что УТС необходимо использовать, так чтобы оно позволяло сформировать у обучаемого навыки действий моторно-рефлекторного и когнитивного типа в сложных ситуациях, понимать сущность протекающих процессов и их взаимную зависимость необходимо обеспечивать режим интерактивности таким образом, чтобы сохранялась логическая связь между результатами выполненных действий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.В., Анализ возможностей информационных технологий для построения средств освоения сложных интеллектуальных систем. / В. В. Алексеев. // Воронеж : Изд-во ВГУ .– 2017. – С.5-6 .

2. Алексеев С.А., Анализ проблем моделирования автоматизированной обучающей системы тренажерной подготовки / А.А. Гончар, Н.П. Парфенов// Системы управления, связи и безопасности. – 2018.– №4. – С.284-295.

3. Алексеев С.А., Анализ управления тренажерной подготовкой, как социальной организационно-технической системой / Н.П. Парфенов, Р.Е. Стахнов// Синергия наук. – 2018. –№23.– С.1307-1313.

4. Низамиев А.Ю., Оптимизация современного производства на основе компьютерного моделирования технологических процессов / А.Ю. Низамиев, А.А. Саетшин, З.Т. Валишина и др. // Вестник Технологического Университета. – 2017 – Т.20. – №6 – С. 121-123.

5. Юрков Н.К., Интеллектуальные компьютерные обучающие системы /Н.К. Юрков // Пенза: Изд-во ПГУ. – 2010. – 304 с.

УДК 618.614

Кирдяев М.М., Наумова И.Ю.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, ПРИМЕНЯЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

Проводится обзор программных комплексов по менеджменту качества. Сделаны заключение о роли показателей качества в корпоративных информационных системах.

Ключевые слова:

ПОКАЗАТЕЛИ, КАЧЕСТВО, РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА, СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА, КАЧЕСТВА

Для контроля качества выпускаемой продукции на предприятиях в современном мире были разработаны и продолжают разрабатываться различные программные продукты. Эти многочисленные программы различаются как по спектру выполняемых задач, так и по своему строению и функционалу.

Программы, в той или иной мере применяющие показатели качества можно разделить на несколько групп:

1) Для решения задач по эффективной автоматизации системы менеджмента качества (СКМ) на основе CALS-технологий реализуются программные средства интегрированной корпоративной информационной системы (КИС) предприятия.

2) Программные комплексы по расчету надежности сложных технических систем.

3) CAE-системы, или системы инженерного анализа, позволяющие смоделировать поведение изделия.

Данная обзорная статья будет посвящена первой группе программ. Помимо обзора самих программных средств необходимо рассказать также о самой системе менеджмента качества. Понимание среды, для которой разрабатывались данные программы, оценка всей системы в целом и спектр решаемых программами задач даст лучшее понимание общей картины применения показателей качества.

Подход к построению СМК

СМК строится на основе стандартов ИСО, которые определяют подход к улучшению системы управления посредством ориентации ее на потребности покупателей и оптимизацию бизнес-процессов. Успех на рынке определяется не только эффективной организацией бизнес-процессов, но также и правильно подобранной стратегией и качеством её реализации.

На первой ступени организации СМК на предприятии выделяются основные потребности и интересы потребителей, а так же ожидания других заинтересованных участников. На второй - разрабатывают политику и стратегию управления качеством.

Далее выбираются необходимые для осуществления стратегии, политики и целей бизнес-процессы. Согласно ГОСТ Р ИСО 9001-2008, цели в области качества должны иметь возможность быть измеренными. Для этого необходимо определить методы и показатели оценки эффективности процессов с позиции качества. Каждому показателю присваивается своя единица измерения и периодичность замера данных. В зависимости от этой периодичности определяются значения показателей, а также вводятся плановые и фактические значения. Затем проводится измерение по выбранным показателям, с последующей проверкой на выявление несоответствий. По результатам проверки проводятся мероприятия либо по устранению несоответствий, либо по повышению показателей эффективности системы менеджмента качества.

Внедрение стандарта ГОСТ Р ИСО 9000-2008, представляющего из себя частный случай процессного управления, показало, что поддержание цикла Деминга (обеспечение необходимой точности сбора данных с приемлемой скоростью реакции организации на внутренние и внешние вызовы) трудноосуществимо без автоматизации процессов. СМК должна быть основана на информационной системе, способной совершать автоматизированный сбор данных и

их обработку. Такая система должна быть в состоянии вести документирование по процессам обеспечения качества на всех этапах жизненного цикла изделия, с последующим их автоматизированным управлением. В данном случае СМК станет частью интегрированной автоматизированной системы управления (ИАСУ) предприятия. СМК становится автоматизированной информационно-управляющей системой, и новая технология ее создания сводится к настройке процессов и параметров интегрированной информационной системы (ИИС).

Разработка организационно-технической составляющей СМК включает две задачи:

– разработка методик управления предприятием в соответствии с правилами менеджмента качества, утверждаемая в системе организационных регламентов;

– создание системы, способной собирать, регистрировать, хранить, обрабатывать и анализировать данные о качестве, которую необходимо будет интегрировать в ИИС (с помощью имеющейся или развитием в дальнейшем информационной системы предприятия).

Для выполнения данных задач модель совершенствования системы управления предприятием, описанную в стандартах ИСО 9000, реализуют различными программными средствами интегрированной корпоративной информационной системы (КИС) предприятия.

Корпоративная информационная система состоит из таких элементов, как транзакционные системы учета и оперативной обработки данных, управления процессами и проектами (ERP, CRM, MES, SCADA, PDM и др.). Такие программные комплексы служат для сбора и обработки данных о качестве, которые впоследствии применяются в различных аналитических системах (OLAP, DM и др.).

Данные, полученные из вышеперечисленных аналитических систем, используются BPM-системой, которая является инструментом для формализации стратегии, бизнес-моделирования, мониторинга бизнес-показателей, целевого управления, анализа результативности и эффективности процессов.

Далее рассмотрим автоматизированное проектирование и разработку РЭС как процессы СМК.

Требования к проектированию и разработке РЭС как процессам СМК

Одними из наиболее значимых процессов жизненного цикла продукции (ЖЦП) с позиции контроля её качества являются проектирование и технологическая подготовка производства продукции. ГОСТ Р ИСО 9001-2008 определяет набор правил, предъявляемых к проектированию и разработке продукции.

После того, как будут определены и согласованы требования к продукции, начинается стадия проектирования и разработки.

Во время планирования проектирования и разработки предприятие должно определять:

– стадии проектирования и разработки;

– ·проведение анализа, валидацию, верификацию, для каждой стадии проектирования и разработки;

– роли и обязанности в области проектирования и разработки.

Задача любой организации состоит в управлении различными взаимодействующими между собой группами, занятыми проектированием и разработкой. Целью управления при этом будет установка эффективной связи и распределение ответственности между подчиненными группами.

При проектировании изделия между различными подразделениями происходит обмен данными, совершенствование и согласование документации. Для разработки важно определиться с формой информации, её статусом (уровнем подписания), последовательностью разработки, сроками сдачи и согласования.

Данные необходимо документировать, передавать и постоянно обновлять.

На предприятие возложена задача по проведению анализа, проверки и утверждению деятельности на всех стадиях проектирования изделия. ГОСТ Р ИСО 9001-2008 устанавливает требования к входным и выходным данным при проектировании и разработке. Форма выходных данных должна поддаваться анализу, верификации (проверки на соответствие) и валидации (утверждению) до их повторного применения.

Во время разработки необходимо проводить регулярную сверку выходных данных этапов проектирования с входными данными задания. Это поможет удостовериться, что все предъявляемые к изделию требования будут исполнены.

Результаты проверок и испытаний должны регистрироваться, сохраняться и находиться в свободном доступе. Утверждение продукта происходит только после подтверждения положительных результатов по анализу и проверки. Утверждение продукта подразумевает, что он отвечает установленным требованиям в заданных эксплуатационных условиях.

Верификация и валидация изделия может проводиться как по завершению работы, так и на определенных этапах.

PDM-система как средство построения СМК

Для построения СМК в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001-2008 ключевую роль необходимо отвести PDM-системам. Product Data Management – PDM- это технология, разработанная для управления всеми данными об изделии и информационными процессами изделия на всем жизненном цикле. Данные об изделии предоставляются в цифровом виде на всех этапах жизненного цикла.

Система PDM обеспечивает сбор и хранение систематизированных данных о конструкции изделия, технологии его изготовления и эксплуатации, а также о ресурсах, требуемых для осуществления процессов, сведения о партиях и отдельных экземплярах изделия, включая данные измерений и контроля, результаты анализа и многое другое, и предоставление этой информации другим автоматизированным системам. Информационные процессы – это процессы ЖЦ продукта, создающие или использующие данные о нем. Совокупность информационных процессов образует документооборот, происходящий в течение ЖЦ изделия.

Для выполнения основной задачи CALS / ИПИ-технологий – повышения эффективности управления данными об изделии – роль PDM-технологии заключается в том, чтобы добиться максимальной прозрачности и управляемости в информационных процессах. Решением этой задачи чаще всего становится такой метод, как повышение доступности данных для всех участников ЖЦ изделия, что подразумевает интеграцию данных об изделии в логически единую информационную модель.

На предприятии можно выделить два центра интеграции: АСУП и PDM-систему. АСУП (или ERP-система) отвечает за данные о ресурсах предприятия, в то время как PDM-система направлена на продукт его деятельности. Помимо этого, на предприятии присутствуют прикладные компьютерные системы, которые создают и обрабатывают данные об изделии.

В нашей стране PDM-системы чаще называют системами управления проектом. И действительно, PDM-система фактически направлена на работу с проектом по разработке, производству и запуску на рынок сложного наукоемкого продукта. Задачей PDM-системы является организация всех потоков работ в проекте.

PDM-системы должны быть способны как поддерживать всеобъемлющую модель изделия, которая бы показывала текущее состояние проекта, так и отслеживать и фиксировать историю развития через запись протоколов состояний этого изделия. Таким образом, PDM-системы могут служить основным источником информации при проведении проверки и аудита организации, что отражено в требованиях сертификации международных стандартов качества серии ИСО 9000. Помимо этого, запись состояний важна как возможность отката к определенной точке развития проекта (например, точки, где была совершена ошибка), что бы начать новую линию разработки.

Для PDM-системы характерно выполнение двух функции:

Первое, PDM-системы служат хранилищем данных об изделии, взаимодействуют с прикладными системами, работающими с данными об изделии. Данные, созданные какой либо прикладной программой, отправляются на хранение в PDM систему, что бы потом стать доступными любому пользователю.

Второе, PDM-системы решают задачу повышения эффективности работы отдельных пользователей. В этом случае они являются рабочей средой пользователя, передавая ему запрашиваемые данные в нужное время в нужном формате.

Пользователь во время своей работы постоянно взаимодействует с PDM-системой, которая обеспечивает его потребности, такие как просмотр спецификации узла, изменение твердотельной модели детали или утверждение изменений детали начальником.

PDM-система формирует коммуникацию и взаимодействие между различными группами служащих. Это формирует на предприятии основу для реорганизации процесса проектирования и производства изделия и внедрения параллельного проектирования и междисциплинарных рабочих групп. Например, технологи могут изучить конструкцию изделия до того, как продукт будет отправлен на технологическую подготовку, чтобы заранее высказать свое мнение. Для автоматизации процесса управления конструкторско-технологическими документами в PDM-системе существует Workflow-подсистема.

Workflow-подсистемы автоматизации бизнес-процессов в СМК

Одной из первостепенных задач СМК в соответствии с ИСО 9001-2008 является стандартизация бизнес-процессов. С помощью workflow-технологий происходит описание и жесткий контроль над исполнением бизнес-процессов. Дословно «workflow» переводится как «поток работ», и определяется как технология компьютеризированной поддержки или автоматизации бизнес-процессов в целом или какой-то их части.

Консорциум WfMC (Workflow Management Coalition – коалиция управления потоками работ) определил управление потоком работ как «полную или частичную автоматизацию бизнес-процессов, в ходе которых документы, информация, объекты и задачи пересылаются для обработки от одного участника к другому в соответствии с определенными процедурными правилами».

Workflow-функции в среде проекта отвечают за регулирование очередей и распределение заданий между отдельными работниками, а также для обмена информацией между ними в процессе решения заданий.

Технология Workflow направлена на интеграцию различных информационных технологий: CASE-технологии, моделирование бизнес-процессов, технологии управления проектами, системы групповой работы и т. д. Workflow система обеспечивает решение 3 следующих задач:

·– проектирование и формальное описание бизнес-процесса;

·– управление выполнением бизнес-процесса;

·– интеграция используемых в процессе приложений.

Таким образом, для этих задач в составе системы выделяют типовые компоненты и анализируют связи между ними.

Инструментальные средства описания процесса ориентированы на создание описания процесса в форме упорядоченного множества операций, правил их исполнения, связанных с ними объектов, исполнителей и событий. Затем, это описание или спецификация процесса применяется для контроля и управления выполнением процесса при помощи поступающей в систему информации. В качестве этой информации выступают данные, введенные пользователем, результаты выполнения отдельных операций, отчеты от прикладных систем, баз и архивов.

Интеграция информационных систем на уровне бизнес-процессов происходит посредством стыковочных модулей для загрузки/выгрузки информации, инициации необходимых действий в таких системах как ERP-система и PDM-система.

Для управления потоком работ важно иметь возможность определять взаимозависимости задач в соответствии со структурой проекта, организовывать контроль взаимозависимости работ проекта. Например, можно задать ограничение, при котором конструктор не сможет утвердить сборку до того момента, пока не будут утверждены все входящие в нее детали.

Workflow-система предоставляет возможность руководству отслеживать ход проекта. Упорядочивание потока работ в проекте ведет к повышению его прозрачности и управляемости для руководителя. Появляется возможность узнать, кто что делает, сделал или должен сделать, оценить весь проект на наличие узких мест, выяснить причину задержки при выполнении проекта и т.д.

Применение систем Workflow на предприятии создает возможность для внедрения автоматизированной системы процессного управления. Workflow-системы в основном применяются для автоматизации сравнительно небольшой номенклатуры процессов, представляющих для бизнеса наибольший интерес. Экономическая эффективность таких проектов довольно высока. Современные workflow-системы предоставляют основные средства для реверс-инжиниринга и усложнения бизнес-процессов по мере их развития.

BPM-системы управления бизнес-процессами в СМК

Системы управления бизнес-процессами (BPM – Business Process Management) представляют собой расширение систем класса Workflow. BPM-система выполняет задачи стандартизации бизнес-процессов, сбор метрик, формирование свидетельств контроля. В BPM-системах предусмотрена автоматизация процессного управления. В BPM-системы могут входить следующие дополняющие Workflow-системы средства:

·– средства, направленные на переход от стадии моделирования к стадии реализации, а так же инструменты реверс-инжиниринга для обновления модели процесса после его реализации;

·– подсистему описания статистических метрик процессов, средства их автоматического накопления, агрегации и представления. На практике такая подсистема становится частью единой системы сбора и анализа ключевых показателей эффективности;

·– средства анализа бизнес-процессов, встроенные механизмы анализа загрузки и эффективности работы персонала и, соответственно, эффективности бизнес-процессов;

·– средства имитационного моделирования бизнес-процессов, применяющиеся для оценки эффективности бизнес-процесса в режиме модельного использования, без участия пользователей системы и на основе заранее определенных статистических показателей их деятельности и т. д.

BPM-системы, в основном, предоставляют базовый набор отчетов по показателям бизнес-процессов. По этим данным формируют так называемые «ключевые показатели эффективности» (KPI – Key Performance Indicators), которые затем связывают с «системой сбалансированных показателей» (BSC – Balanced Scorecard).

Матрицы показателей бывают тактическими и оперативными. Они содержат функциональные KPI, отражающие какой-либо ключевой аспект деятельности подразделения или сотрудника, тем не менее, такие матрицы должны связываться и согласовываться с матрицей стратегического уровня. Стратегические показатели – это показатели, описывающие достижение целей организации в целом. Как правило стратегические показатели фиксируются либо в стратегических картах сбалансированной системы показателей, либо в дереве целей.

Для облегчения интеграции, BPM-системы имеют встроенную поддержку сервис-ориентированной архитектуры (Service Oriented Architecture – SOA), при этом являясь «центральной нервной системой» в созданном информационном комплексе, так как управляют вызовом сервисов, предоставленных различными приложениями.

Вывод

В системах менеджмента качества, построенных программных комплексах по автоматизации разработки и менеджмента циркулирует огромное количество различных данных. Показатели качества изделий в системе представлены как часть общего потока информации. Для системы менеджмента качества эти показатели дают возможность оценивать, сравнивать и контролировать изделия на различных этапах разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лютов, А.Г. Автоматизированная система проектирования и разработки продукции промышленного предприятия как элемент СМК [Текст] : / А.Г. Лютов, О.И. Чугунова // Вестник УГАТУ Системы автоматизации проектирования. Т.16, №6(51). Изд-во Уфа: УГАТУ, 2012. – С. 44-52.

2. Кирдяев, М.М. Анализ прогресса управления качеством радиоэлектронных средств [Текст] : / М.М. Кирдяев, И.Ю. Наумова, Е. А. Кузина // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2019. Т. 1. Пенза: Изд-во ПГУ, 2019.– С. 163-166.

3. Кирдяев, М.М. Значимость показателей качества в реалиях современного производства [Текст] : / М.М. Кирдяев, И.Ю. Наумова // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2019. Т1. Пенза: Изд-во ПГУ, 2019. – С. 253-256

УДК 621.3.049.77, 621.3.049.76

Фролов С.И., Кочегаров И.И., Таньков Г.В., Данилова Е.А., Рыбаков И.М.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия,

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПОНОВКИ БЕЗРЕЗОНАНСНЫХ БЛОКОВ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В настоящее время, перед разработчиками ставятся все более сложные задачи по созданию высоконадежных бортовых радиоэлектронных систем (БРЭС), эксплуатируемых в жестких условиях внешних механических воздействий - вибраций. По некоторым оценкам, от 30 до 50 % отказов БРЭС происходит именно по причине вибрации [1]. Наиболее опасными являются вибрации плоских элементов конструкций блоков БРЭС (печатных плат с ЭРИ и др.) из-за усиления их колебаний на резонансных частотах.

Важнейшим методом обеспечения вибропрочности БРЭС является отстройка резонансных частот элементов конструкции за пределы диапазона частот внешних возмущающих воздействий. До последнего времени считалось, что метод отстройки резонансов из-за значительного увеличения массово-габаритных характеристик БРЭС может быть использован только в диапазоне частот не выше 500 Гц [2,3]. Однако современные технологии (микроминиатюризация, поверхностный монтаж и т.п.) позволяют существенно расширить границы этого диапазона и, тем самым, проектировать безрезонансные конструкции блоков БРЭС.

На сегодняшний день имеется большой выбор САПР конструирования РЭС (ECAD, EDA), многие из которых позиционируются как системы сквозного автоматизированного проектирования.

Однако, при конструировании безрезонансных печатных узлов (ПУ) с использованием этих САПР образуется пробел в инженерных расчетах сквозного цикла работ. В случае, когда компоновочное решение ПУ не задано, а такое бывает сравнительно часто, или бывает задано на основе некоторых соображений, но без учета возможных резонансных явлений, то в рамках сквозного цикла конструирования ПУ возникают трудоемкие итерационные петли работ по переработке разработанной конструкции для исключения резонансов.

Это делает актуальным разработку методики автоматизированного выбора на ранних стадиях проектирования (еще до трассировки печатных плат) конструктива безрезонансной ПУ для заданного диапазона частот внешних воздействий с запасом, определяемым коэффициентом отстройки.

Здесь важно сменить ракурс с привычного стереотипа проектирования: прежде выполнить размещение ЭРИ и трассировку ПУ для некоторых габаритов печатных плат-прототипов или на основе удобства декомпозиции электрической схемы и т.п., а затем уже «защищать» их от вибрации. Причем очевидно, что при таком подходе возможности отстройки от резонансов существенно ограничены и в качестве «защиты» от вибрации приходится прибегать к демпфированию и амортизации с их неизлечимыми недостатками. На переработку конструкции ПУ для отстройки от резонансов, как правило, времени уже не бывает. А если время на переработку в редких случаях есть, то, не имея опыта проектирования безрезонансных конструкций, положительный результат так же не гарантирован.

В данной статье, делается попытка исследования и выработки рекомендаций по решению проблем разработки безрезонансных ПУ БРЭС на основе самых общих представлений и ограниченных исходных данных проектирования. В качестве исходных данных в данном случае имеются в виду рассчитываемая монтажная площадь ПУ, необходимая для размещения ЭРИ электрической схемы блока и включающая среднестатистический запас порядка 10-15%, диапазон внешних воздействий вибрации и данные о технологических возможностях изготовителя. Для простоты в дальнейшем рассматриваем случай разработки ПУ на ЭРИ третьего поколения изготовителем с технологическими возможностями качественной металлизации сквозных отверстий в двусторонних печатных платах толщиной до 2 мм.

Прежде чем приступить к рассмотрению проблем разработки безрезонансных ПУ следует уточнить следующие важные моменты, связанные со спецификой БРЭС.

Один из главных вопросов при проектировании блоков БРЭС является обеспечение их ремонтопригодности. Так сложилось по уровню технологических возможностей прошлых лет, что ремонтопригодность считается одним из важнейших показателей радиоэлектронной аппаратуры. Она конкретна, функционально закладывается при конструировании БРЭС и во многом определяет ее компоновку. При этом безотказность задается некоторыми «туманными» вероятностями работоспособности, обеспечивается набором стандартных в основном схемотехнических мер (выбор надежных ЭРИ, многократное резервирование, проведение различных, не всегда адекватных испытаний и т.п.), не поддается проверке на стадии проектирования и достоверно определяется только по результатам последующей долговременной эксплуатации.

В результате, не смотря на то, что применение разного рода разъемных соединений отрицательно влияет на надежность аппаратуры в условиях жестких внешних воздействий, при выборе компоновки блоков БРЭС предпочтение часто отдается именно легкоразъемным конструкциям по приоритету ремонтопригодности. И это при том, что для разъемных конструкций крайне трудно сделать хороший отвод тепла и особенно тяжело обеспечить вибропрочность.

Проведенные натурные испытания разъемных блоков аппаратуры показали, что с ростом вибрационных перегрузок начинаются не только изгибные колебания печатных плат, но и их биения в направляющих и электрических соединителях. А это приводит к существенному изменению динамических характеристик ПУ не в лучшую сторону, отказам ЭРИ и поломкам контактов соединителей [2]. То есть,

в этом случае хорошая ремонтопригодность приводит к увеличению отказов аппаратуры и, тем самым, оправдывает сама себя. Как следствие, для недопущения роста вибрационных перегрузок воздействующих на блоки разъемной аппаратуры прибегают к ее виброизоляции, т.е. встраивают дополнительные устройства для гашения колебаний - амортизаторы. Помимо того, что это увеличивает габариты и массу конструкции, как известно, амортизаторы не работают при линейных перегрузках, вызванных разгоном и торможением носителя аппаратуры, и не обеспечиваю ее полную виброизоляцию.

Поэтому, исходя из требований надежностно-ориентированного конструирования, для электронных блоков БРЭС предпочтение следует отдавать пакетной компоновки ПУ с жестким креплениям в точках и по краям плат (так называемым «этажеркам»). А повышение вибропрочности и улучшение теплоотвода уменьшает количество отказов, что делает ремонтопригодность мало актуальной.

Пример жесткой безрезонансной конструкции блока БЦВМ, эксплуатируемого в диапазоне вибрации до 1000 Гц, представлен на Рис.1.

Рисунок 1 - Блок БЦВМ пакетной компоновки стянутой шпильками

Учитывая выше изложенное, в данной статье рассматриваются в качестве безрезонансных только варианты пакетной компоновки.

Рассмотрим один из типичных вариантов схем проектирования ПУ блоков ЭС, показанный на рис. 2 [3].

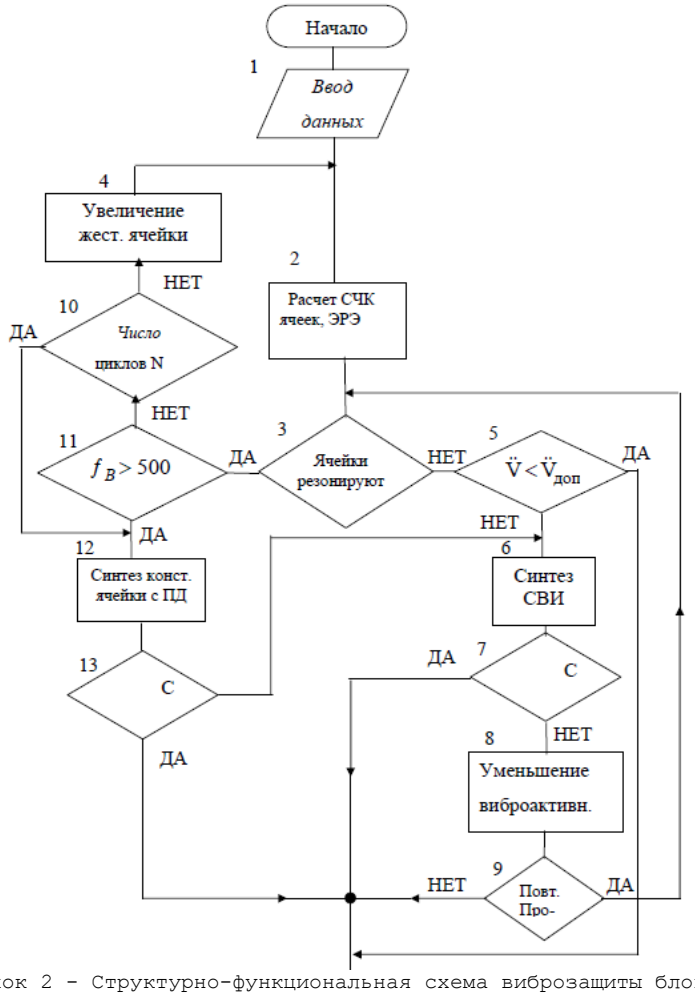


Рисунок 2 - Структурно-функциональная схема виброзащиты блока ЭС

Проектирование по схеме Рис.2 выполняется следующим образом [3].

Исходными данными (блок 1) являются диапазон частот и амплитуда действующей на РЭС вибрации, конструктивные параметры блока и узлов - размеры, модули упругости материалов и т.д., условия эксплуатации и другие условия.

В блоке 2 проводится расчет собственных частот колебаний ячеек ПУ.

В блоке 3 проверяется возможность возникновения резонансных колебаний ячеек путем сравнения диапазона частот вибраций с собственными частотами колебаний элементов конструкций.

Если проверка на наличие резонансных колебаний показывает, что ячейки или другие элементы будут резонировать, то необходимо применить частотную отстройку или увеличить демпфирующие свойства системы.

Выбор одного из этих способов определяется двумя факторами. Во-первых, тем, что частотная отстройка, как правило, конструктивно технологически выполняется проще, но, во-вторых, при частотах возбуждения больше 500 Гц она приводит к значительному часто недопустимому, увеличению массы и габаритных размеров конструкции. Поэтому в блоке 11 проверяется, превышает ли верхняя частота возбуждения частоту, равную 500 Гц. Если нет, то для устранения резонансных колебаний целесообразнее применить частотную отстройку. Для этого можно увеличить толщину конструкции, уменьшить площадь плат, изменить способ их крепления, применить ребра жесткости.

В блоке 6 проводится синтез системы виброизоляции. Он включает определение центра тяжести блока, расчет моментов инерции, выбор схемы расположения виброизоляторов и их статический расчет, выбор типа изоляторов, определения собственных частот блока на виброизоляторах.

Если за определенное число циклов частотную отстройку провести не удается (блок 10), то необходимо увеличивать демпфирующие свойства конструкции (блок 12).

Демпфирующие свойства обычно повышаются за счет применения полимерных демпферов (ПД). При неудачном итоге, дополнительно применяется виброизоляция (блок 7).

Здесь нужно отметить, что утверждение: «частотная отстройка при частотах возбуждения больше 500 Гц приводит к значительному часто недопустимому, увеличению массы и габаритных размеров конструкции», как уже говорилось выше, справедливо в основном только для разъемных типов конструкций, которые используются в стремлении к высокой ремонтопригодности. Распространение этого суждения на неразъемные конструкции, которые применяются исходя из понимания, что резонансы это абсолютное зло, приводит к смещению акцента с главной цели конструирования вибропрочных блоков БРЭС: создание конструкций блоков без резонансов. Особенно там, где из-за жестких требований к надежности резонансы не допустимы и виброизоляция не применима.

Кроме того, при проектировании безрезонансных блоков, схема Рис.2 существенно упрощается: между блоками 1 и 2 вставляется блок предварительного синтеза безрезонансных ПУ (Синтез ПУ). Далее, если после проверочного расчета СЧК плат (блок 2) ячейки резонируют (блок 3), то проводится дополнительное ужесточение конструкции (блок 4). Остальные работы отпадают за ненадобностью, что существенно сокращает сроки разработки.

В блоке (Синтез ПУ), на основе данных о величине монтажной площади для размещения ЭРИ и заданного диапазона частот внешнего возмущающего воздействия вибрации, предварительно синтезируются варианты компоновки безрезонансных пакетов ПУ.

Важным преимуществом является то, что в данном случае задача синтеза крайне проста, не требует программирования и может выполняться на ПК с использованием стандартного программного обеспечения.

Опытный конструктор, опираясь на результаты исследования по определению резонансных частот прототипов ПУ и методы расчетов СЧК, приведенные в специальной литературе, зная возможности новых технологий изготовления аппаратуры, может в разумные сроки методом проб и ошибок найти подходящие варианты безрезонансной компоновки ПУ для диапазона частот до 1000 Гц и даже выше. Однако, применяя системный подход можно расширить этот диапазон и сделать это намного быстрее.

Сформулируем в максимально упрощенном виде задачу синтеза безрезонансных ПУ блоков БРЭС.

Исходные данные:

Диапазон частот, в котором у проектируемых пакетных ПУ не должно быть собственных частот колебаний (СЧК). Этот диапазон должен включать в себя диапазон частот возмущающих внешних вибрационных воздействий с коэффициентом запаса 1,5 – 2 раза. Т.е. $f_{счк} > 1{,}5\, f_{В}$.

Размер монтажной площади *Sм* для размещения ЭРИ электрической схемы ПУ.

Механические характеристики материалов, используемых для изготовления ПУ.

Требуется найти варианты компоновки пакетных ПУ, у которых СЧК находятся вне диапазона частот вибрационных воздействий.

Здесь важно отметить, что решение выше поставленной задачи достигается однозначно при отсутствии в диапазоне вибраций хотя бы первой СЧК, т.к. остальные СЧК не войдут в диапазон автоматически. Это обстоятельство существенно упрощает синтез безрезонансных ПУ и, в дальнейшем, под частотами будет предполагаться только первая СЧК.

Для решения выше поставленной задачи, в качестве математической модели, можно использовать известную формулу для определения СЧК тонких пластин [4,5]:

$$f_{счк} = A\, C\, h / Sa \; ; \qquad (1)$$

где, $f_{счк}$ - первая СЧК платы, Гц ;

$A = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{E}{12(1-\mu^2)\rho}}$ - постоянный коэффициент, зависящий от свойств материала платы;

C – частотный коэффициент, зависящий от способа крепления и соотношения сторон платы;

h – толщина платы, м;

$Sa = a^2$ – площадь квадратной платы со стороной *a* , м^2;

a – длина платы, м;

E – модуль упругости материала платы, Н/м^2;

μ – коэффициент Пуассона;

ρ – плотность материала платы.

Сразу оговоримся, что влиянием на резонансную частоту массы ЭРИ, размещаемых на плате, пренебрегаем, т.к. оно в значительной мере компенсируется увеличением жесткости ПУ от закрепления корпусов ЭРИ на поверхности платы.

Из формулы (1) следует, что СЧК прямо пропорциональна толщине и обратно пропорциональна площади платы. Эти параметры модели одинаково присущи всем ПУ пакетной компоновки и не являются видообразующими. В отличии от них частотный коэффициент *C* жестко зависит от способа крепления и соотношения сторон ПУ и определяет их разновидности. Влияние на СЧК частотного коэффициента *C* много сложнее влияния других параметров и может дать увеличение частоты в несколько раз.

Исходя из выше изложенного, как один из вариантов, напрашивается следующая последовательность процедур решения задачи компоновки ПУ.

Решается условно называемая задача «масштабирования», при которой монтажная площадь *Sм* устанавливается равной площади квадратной платы ПУ $Sa = a^2$ и последовательно делится на квадраты со стороной $a/2$.

Т.е. производится последовательно деление каждого квадрата на четвертинки, что увеличивает в 4 раза частоту каждого последующего квадрата со стороной $a/2$. Деление площади производится до минимальных размеров *a*, рекомендованных НТД и специальной литературой для выбранных ЭРИ и технологии изготовления ПУ.

2) Из числа приемлемых с точки зрения технологичности вариантов выбирается тип и соотношение сторон ПУ с наибольшим необходимым из условия $f_{счк} > 1,5\ f_B$ значением частотного коэффициента *C*. Причем для удобства, чтобы уменьшить объем вычислений и сделать синтез наглядным, можно построить шкалу из последовательных вариантов конструкции ПУ с возрастающими относительными значениям *C* .

3) Подбираются материал и толщина плат ПУ, обеспечивающие технологичность изготовления плат и дополнительное выполнение условия $f_{счк} > 1,5\ f_B$.

Таким образом, для реализации предложенного варианта синтеза безрезонансных ПУ, необходимо определиться с получением частотного коэффициента С для каждого варианта конструкции ПУ, входящего в построенную шкалу вариантов.

Для примера, в таблице 1. приведена шкала, где коэффициенты *C* рассчитаны методом конечных разностей (МКР) с использованием методики, приведенной в [6,7].

Таблица 1

К = 1	4т	6т	8т	4ш	4ж	4ж1рц	4ж1кр
С =	8,9	12,5	20,5	19,7	33,3	67,7	100
Отношение	1	1,4	2,3	2,2	3,7	7,6	11,2

Значки при цифрах означают: т – точка крепления; ш и ж – шарнирное и жесткое крепление сторон; рц – ребро по центру; кр – крестообразное ребро. Для точечных креплений значения *C* определялись с использованием сетки 18х18, для остальных 24х24. Точки располагались на контуре платы и площадь точек крепления принималась равной нулю.

График шкалы относительных коэффициентов *C* приведена на Рис. 3.

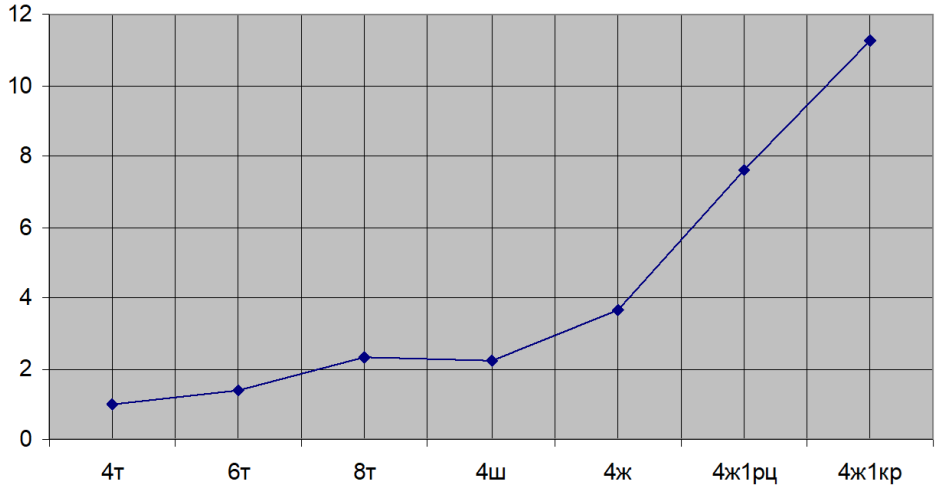


Рисунок 3 - График шкалы относительных коэффициентов *C*

Собственные формы колебаний для плат 4ж1р и 4ж1кр приведены на Рис. 4.

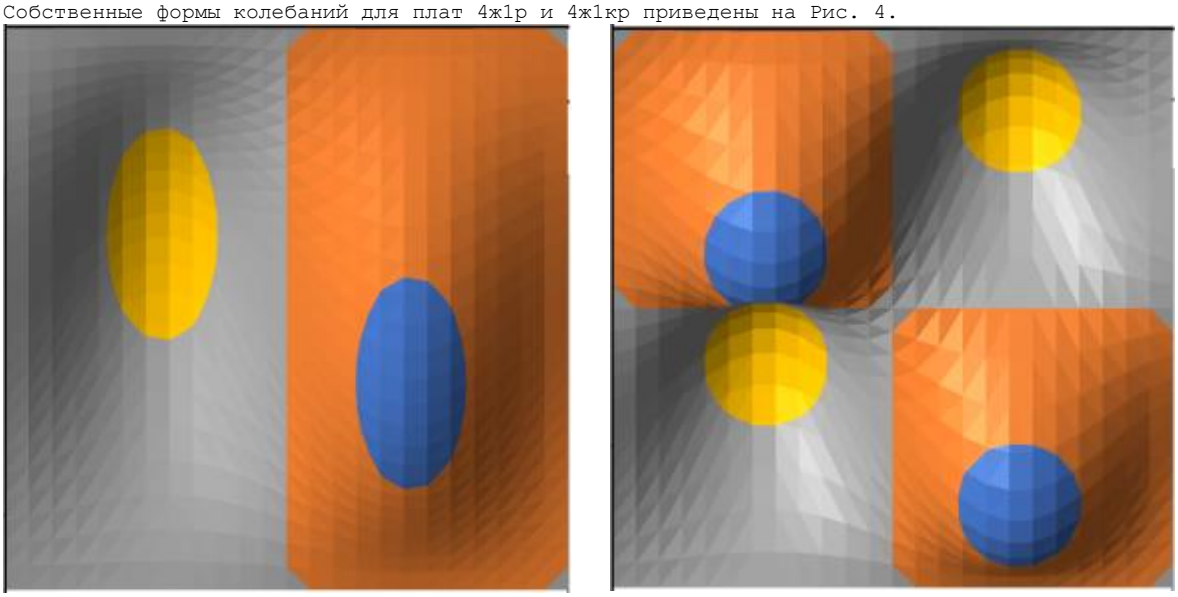


Рисунок 4 - Собственные формы колебаний плат с креплением 4ж1р и 4ж1кр

Набор вариантов ПУ и значения коэффициентов *C* представленные в таблице 1. на сегодняшний день устарели и нуждаются в уточнении. Тем более, что возможности современных персональных компьютеров позволяют использовать сетку больше, чем 48х48 и закладывать в расчеты реальную площадь точечного крепления.

Для начала рассмотрим случай, когда все края платы шарнирно закреплены и для которого задача на собственные значения имеет точное решение. В этом случае коэффициент *C* находится по формуле [3]:

$$C=\pi^2(1+\kappa^2);\ \text{где:}\ \kappa=a/b. \qquad (2)$$

Для жесткого крепления сторон на сегодняшний день точного аналитического решения не найдено из-за трудностей математического характера. Эту задачу многократно пытались решить математики, включая наших отечественных, с применением различных методов [8]. Разброс найденных значений *C* для квадратной пластины составил от 32,82 (Саусвелл) до 37,56 (метод Ритца в первом приближении) [5].

В работе [4] даны значения при κ=1 *C*=36,12 и κ=2 *C*=98,28.

В ряде работ имеются формулы приближенного вычисления коэффициента *C* для жестко закрепленных плат.

В [2] предложена формула:

$$C = 2\,\frac{\pi^2}{1{,}5}\sqrt{(3+2k^2+3k^4)}\ ; \qquad (3)$$

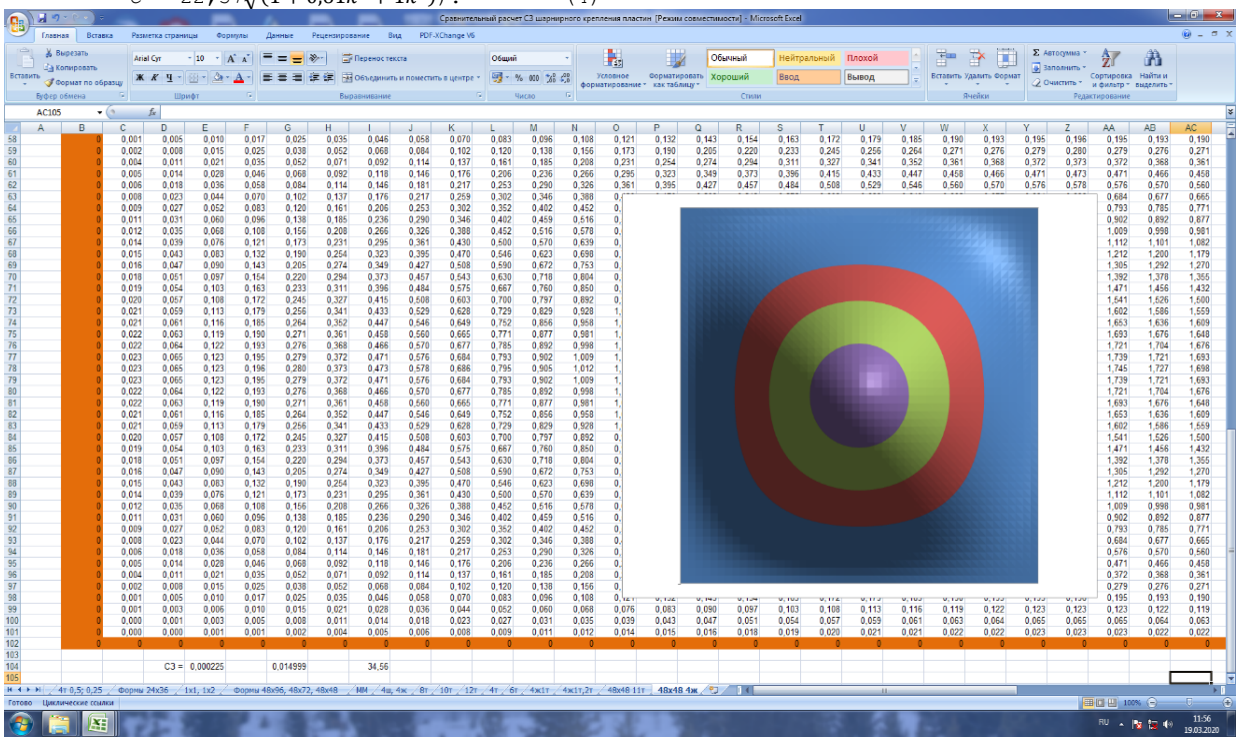
где при $k = 1$ $C = 37{,}18$.

В [3] приведена формула:

$$C = 22{,}37\sqrt{(1+0{,}61k^2+1k^4)}\,) . \qquad (4)$$

Здесь при $k = 1$ $C = 36{,}14$.

С целью использования выше приведенных формул нами была решена задача нахождения значения коэффициента C методом конечных разностей (МКР) с использованием методики, приведенной в [6,7].



Для оценки точности расчетов СЧК в зависимости от густоты сеток задача решалась с использованием сеток 24x24, 48x48 и 72x72. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сетка	24x24	48x48	72x72
C	33,26	34,56	35,06

Как видно из таблицы, с дальнейшим уменьшением шага сетки в 2 раза коэффициент C достигнет значения около 35,3.

Результаты выполненных расчетов частотного коэффициента C для плат с шарнирным (4ш) и жестким (4ж) закреплением по контуру приведены в таблице 3.

Таблица 3

	4ш		4ж			
k	Формула (2)	МКР	Формула (3)	Формула (4)	[4]	МКР
1	19,72	19,73	37,18	36,14	36,12	35,3
2	49,36	49,61	100,98	98,63	98,28	94,62

Сравнение результатов расчета и точных значений C для шарнирного крепления плат показывает высокую точность методики МКР, что подтверждает достоверность найденных с ее использованием значений C для плат с жестким креплением сторон и дает возможность взять за основу в расчетах формулы (3,4) после уточнения их коэффициентов.

Так уточненную формулу (3), путем очевидного подбора коэффициентов, можно записать следующим образом:

$$C = 2\,\frac{\pi^2}{1{,}5}\sqrt{(3+k^2+3k^4)} \qquad (5)$$

Уточненная формула дает при $k = 1$ $C = 34{,}78$, а при $k = 2$ $C = 97{,}49$, что укладывается в 1 % относительно результатов МКР.

Аналогично уточненная формула (4) запишется:

$$C = 22{,}37\sqrt{(1+0{,}33k^2+k^4)} \qquad (6)$$

Эта формула при $k = 1$ дает $C = 34{,}15$, а при $k = 2$ $C = 95{,}75$, что укладывается в 3 % относительно тех же результатов МКР.

Получается, что при расчетах коэффициентов C обе формулы применимы.

Для точечного крепления дело обстоит значительно сложнее. Здесь многое зависит от расположения точек на плате, площади точки и даже от момента затяжки винтов. На основе подробного анализа в [9] предложены следующие аналитические выражения для отдельных вариантов точечного крепления.

Для четырех точечного крепления

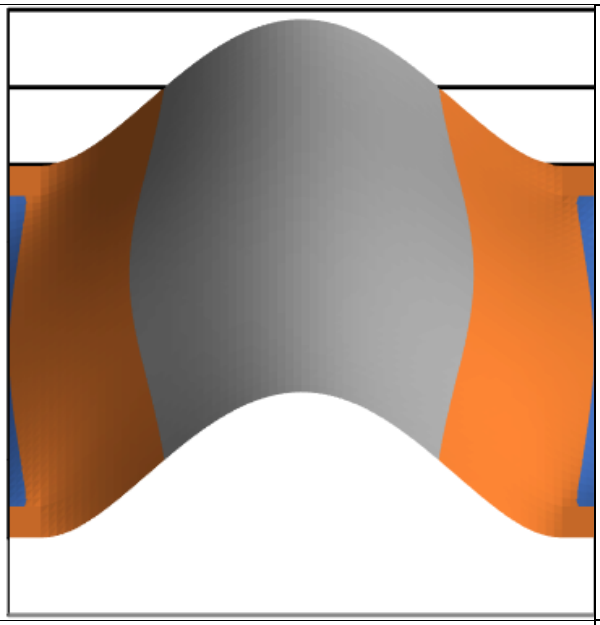
$$f = \frac{\pi}{2}\left(\frac{1}{a^2}+\frac{\left[\left(1{,}23-0{,}33\frac{a}{b}\right)(1{,}46-33{,}58S+671{,}67S^2-4778S^3)\right]^2}{b^2}\right)\sqrt{\frac{D}{\rho H}}$$

Для 6-ти точечного крепления

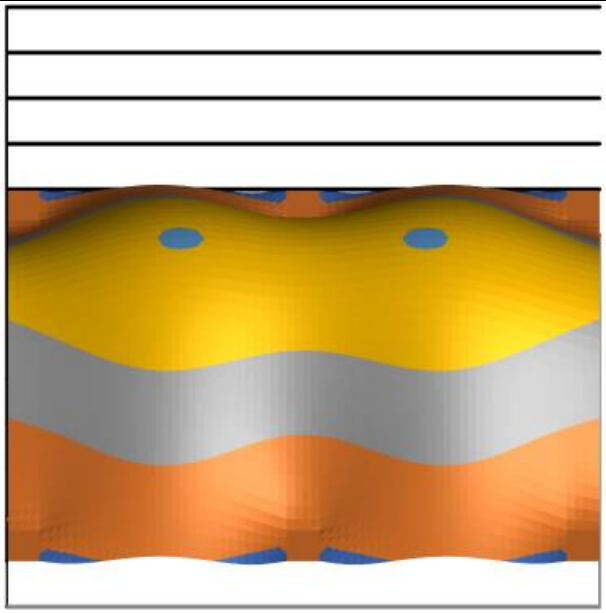
$$f = \frac{\pi}{2}\left(\frac{2}{a^2}+\frac{\left[\left(-32{,}5+84{,}4\frac{a}{b}-79\left(\frac{a}{b}\right)^2+33\left(\frac{a}{b}\right)^3-5{,}2\left(\frac{a}{b}\right)^4\right)(1{,}48-23S+159S^2)\right]^2}{b^2}\right)\sqrt{\frac{D}{\rho H}}$$

Из этих формул легко можно выделить коэффициенты C .

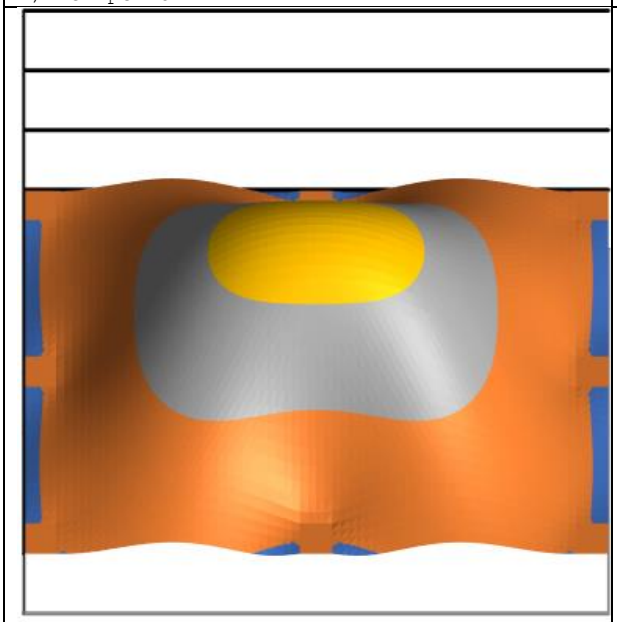
Коэффициенты C для крепления плат большим количеством точек и плат с 4ж и дополнительным креплением точками и ребрами на поле платы можно найти только численными методами с использованием густой сетки. Ниже представлены, найденные методом МКР, собственные формы колебаний плат с $k = 1{,}5$ при различном их креплении.



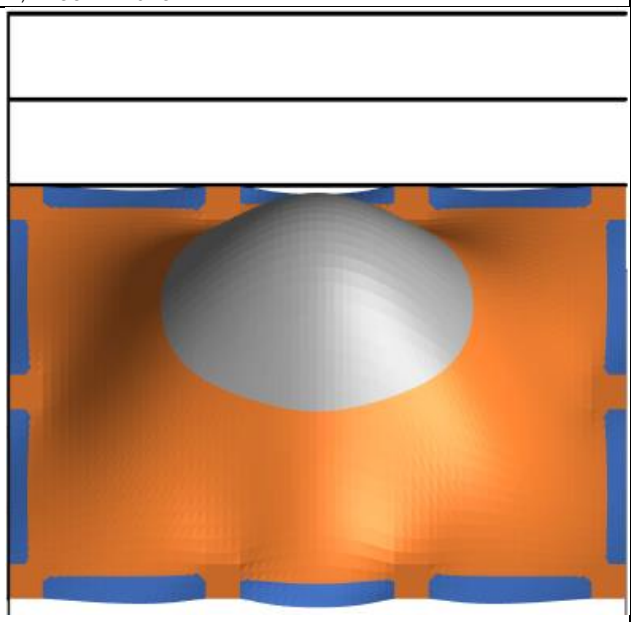
1) Четыре точки



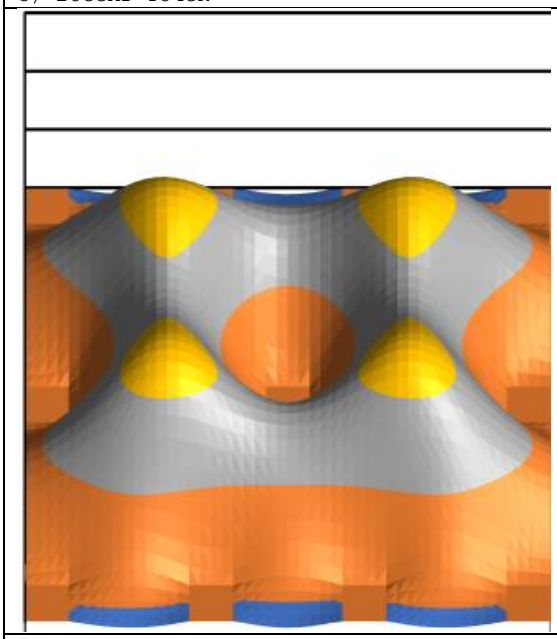
2) Шесть точек



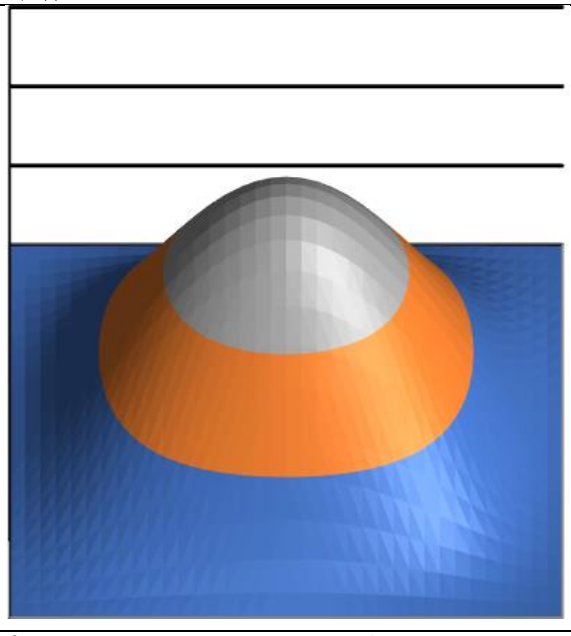
3) Восемь точек



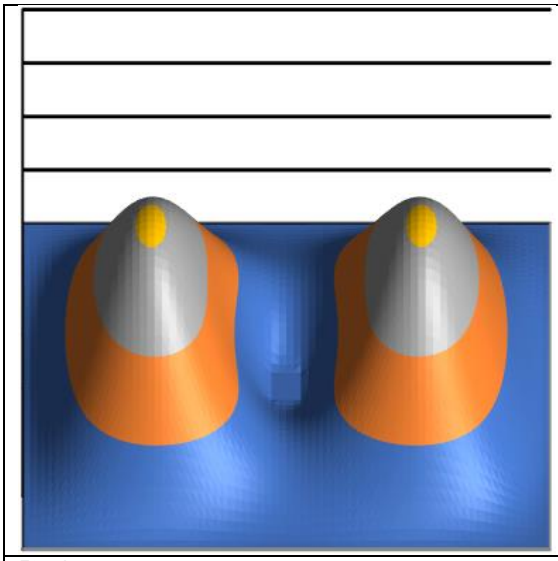
4) Десять точек



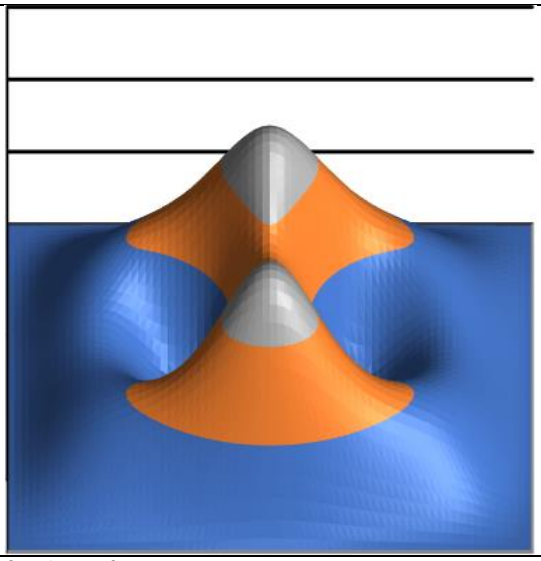
5) Одиннадцать точек



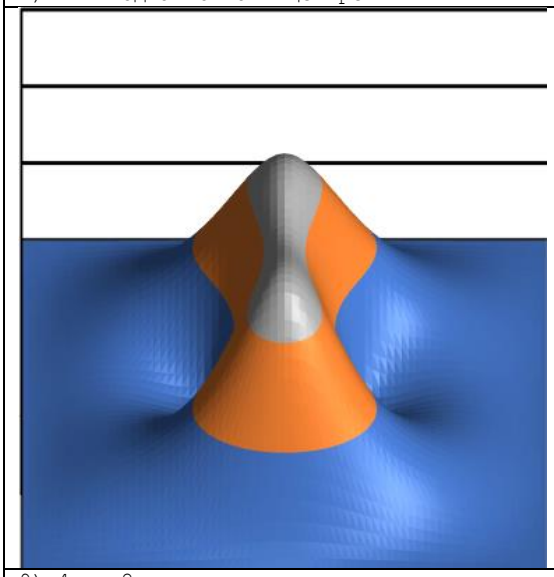
6) Жесткое крепление сторон 4ж



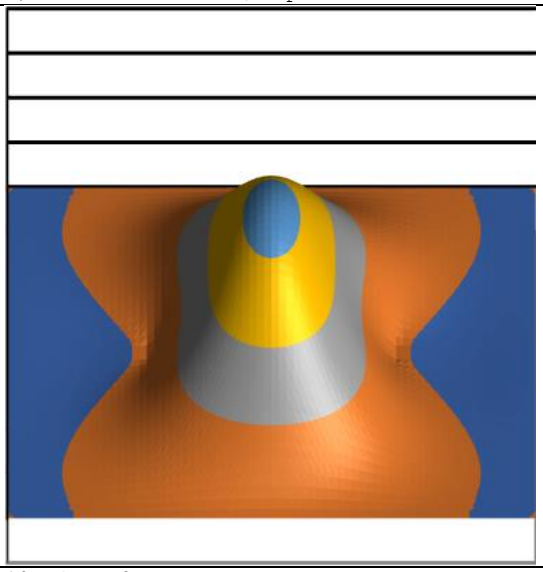
7) 4ж и одна точка в центре



8) 4ж и 2 точки в центре по оси



9) 4ж и 2 точки в центре по оси



10) 4ж и 2 точки в центре по оси

Собственные формы 9), 10) отличаются меньшей, чем у варианта 8) площадью точек крепления и расстоянием между точками.

Для расширения диапазона значений коэффициента *C* к вариантам крепления шаблона в таблице 1 добавляются дополнительно варианты более жестких креплений 4ж1кр и 4ж1кр4т. Собственные формы колебаний квадратных плат при креплении 4ж1кр и 4ж1кр4т, найденные методом МКР с сеткой 48х48, представлены на Рис.5.

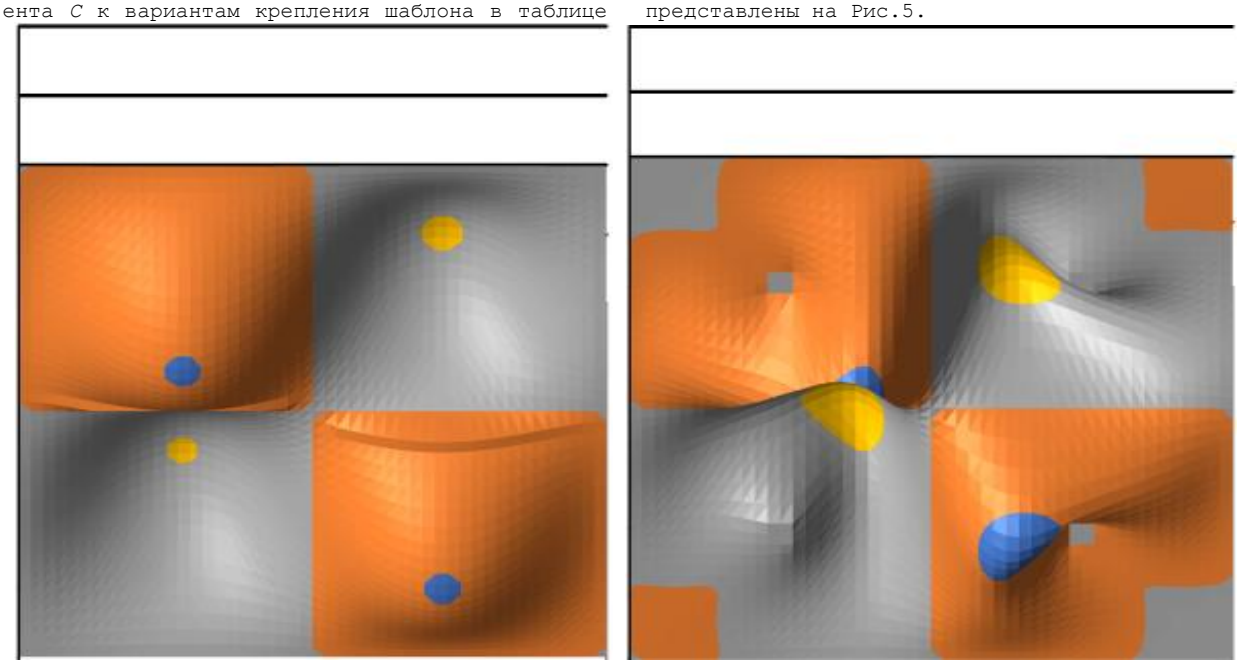


Рисунок 5 - Собственные формы колебаний при креплении квадратных плат 4ж1кр и 4ж1кр4т

В связи с увеличившимся количеством вариантов крепления, шкалу вариантов удобнее представить в виде двух частей: 1) варианты с точечным креплением, 2) варианты с креплением по периметру.

Таблицы СЧК плат с толщиной 2 мм и монтажным полем со стороной квадрата a = 0.4 м приведены ниже.

1x1	*k*	1				
a, м	Количество плат	4т	6т	8т	10т	11т
		18,3	26,7	43,7	45,5	107,3
		1	1,5	2,4	2,5	5,9
0,4	1	17,3	25,2	41,3	43,0	101,4
0,2	4	69,2	101,0	165,2	172,1	405,7
0,1	16	276,8	403,9	661,0	688,2	1623,0

1x1	*k*	1				
a, м	Количество плат	4ш	4ж	4ж1рц	4ж1кр	4ж1кр4т
		19,7	35,3	67,7	103,9	245,5
		1,0	1,8	3,4	5,3	12,5
0,4	1	19,1	33,5	65,6	100,7	238,0
0,2	4	76,4	134,0	262,6	402,9	952,1
0,1	16	305,6	536,1	1050,2	1611,8	3808,4

Как видно из приведенного примера, точечное крепление плат может обеспечить отсутствие резонансов в среднем диапазоне частот вибрации (до 1000 Гц), но только при размещении дополнительных точек крепления на поле платы. При этом, количество плат со стороной 0,1 м составляет 16 шт. Т.е., исходя из рекомендаций, что в пакете должно быть не более 5 плат, надо компоновать в блоке 4 пакета по 4 платы.

Варианты с жестким креплением сторон по периметру дают более жесткую конструкцию. Так при креплении 4ж1кр4т при количестве плат 2 шт. со стороной 0,2 м резонансы отсутствуют в диапазоне до 500 Гц, при количестве плат 16 шт. со стороной 0,1 м – до 2000 Гц.

Возможность оперативного определения схем крепления и параметров безрезонансных ПУ на схемотехническом этапе и ранних этапах конструирования, помимо обеспечения высокой надежности ПУ, может позволить существенно уменьшить трудоемкость и сократить сроки работ за счет исключения лишних итерационных петель работ при конструировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств: Учебник для радиотехн. спец. вузов / А.П. Ненашев, М.: Высш. школа, 1990.

2. Steinberg D.S. Vibrations analysis for electronic equipment. — New York, 1973.

3. Талицкий Е.Н. Защита электронных средств от механических воздействий. Теоретические основы: Учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2001. 256 с.

4. Карпушин В.Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. М. «Советское радио», 1971г.

5. Под ред. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания, том 3. М., изд. Машиностроение, 1968г.

6. Фролов С.И. Расчет собственных частот и форм колебаний плоских элементов радиоконструкций на ЦВМ. Пенза, ППИ. В сборнике «Вопросы проектирования специальных радиоэлектронных устройств», Выпуск 3, 1974г.

7. Фролов С.И., Юрков Н.К., Кочегаров И.И., Лысенко А.В. Разработка системы сквозного автоматизированного проектирования безрезонансных печатных узлов РЭС. Пенза, ПГУ. Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», том 1, 2016г.

8. Сухотерин М.В., Барышников С.О., Аксенов Д.А. Собственные колебания тонких прямоугольных элементов судовых конструкций. Вестник ГУМРФ, выпуск 4, 2016.

9. Кутровский П.В. Исследование и разработка виброзащиты радиотехнических устройств методом частотной отстройки. Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2009.

УДК 003.29.09

Струнин А.Н., Шалавин А.А., Данилова Е.А.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ: ОТ САМЫХ ПЕРВЫХ ДО ПРООБРАЗОВ СОВРЕМЕННЫХ

В данной научной статье рассмотрены методы криптографического шифрования, начиная с самых первых. Проведён анализ этих шифров, определены их сильные и слабые стороны, способы усиления. Схематично разобраны шифры RSA, Фейстеля, DES, использующиеся до недавнего времени и ставшие прообразом современных систем шифрования.

Ключевые слова:

RSA, DES, СЕТЬ ФЕЙСТЕЛЯ, ШИФРОВАНИЕ, РАСШИФРОВАНИЕ, ДЕШИФРОВАНИЕ, КРИПТОАНАЛИЗ, КРИПТОСТОЙКОСТЬ, КЛЮЧ

В условиях современной среды использование различных электронных устройств для хранения и передачи данных давно стало самым обыкновенным делом. Постоянно передаются большие объемы приватной информации, конфиденциальные электронные письма и документы, происходит множество операции с электронной валютой и банковскими счетами. Защита этих сведений является крайне приоритетной задачей. Именно для этого служит криптография. Это наука, изучающая способы преобразования данных, с целью сокрытия их содержания от всех лиц, кроме адресата. Кроме того, она помогает обеспечивать безопасность и анализировать слабости программируемых систем.

Криптография возникла ещё во времена появления письменности. Шифр сдвига был одним из первых. Принцип его действия достаточно прост. Каждый символ открытого текста заменяется стоящим за ним на n позиций символом, где n является секретным ключом. Если n=3, то этот метод носит название шифр Цезаря, так как именно он придумал и использовал его в секретных сообщениях. Для шифровки и расшифровки составляется таблица подстановок. Пусть n=5, а открытый текст: «cryptographic strength».

Подстановки шифра сдвига Таблица 1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	a	b	c	d	e

После шифрования получается текст: «hwduytlwumnh xywjslym». Аналогично происходит расшифрование, т. е. каждый символ зашифрованного сообщения заменяется символом, находящимся на n позиций перед ним. Результат: «cryptographic strength».

Очевидно, что этот шифр элементарен. Любой криптоаналитик, человек занимающийся получением исходных данных без знания секретного ключа, сможет получить информацию путём простого перебора 25 возможных вариантов (количество букв в алфавите за вычетом одной шифруемой), будет пробовать каждый вариант до тех пор, пока часть текста не начнет становиться осмысленной. Укрепить шифр сдвига можно:

1)Использовать другой алфавит (или несколько алфавитов) шифровки с числом букв совпадающим или превосходящим открытый текст

2)Использовать данный алгоритм несколько раз

В первом случае усиление шифра достигается за счет незнания криптоаналитиком языка открытого текста, иначе в этом нет смысла. Второй случай значительно увеличит время поиска ответа. Использование обоих способов одновременно дает более совершенное укрепление. Правда в современном мире, с учетом вычислительных мощностей ЭВМ, никакой сложности во взломе шифр сдвига не представляет.

Более совершенен в этом плане шифр замены. Отличается от предыдущего тем, что символ открытого текста заменяется случайно выбранным заранее символом. Так же создается таблица подстановок, и производится шифрование. Прежним остается открытый текст: «cryptographic strength».

Подстановки шифра замены Таблица 2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
u	f	o	j	g	s	b	m	x	r	q	c	v	y	h	w	a	d	l	p	i	n	z	k	t	e

При применении к тексту таблицы 2 получается шифрованное сообщение: «odtwphbduwmxo lpdgybpm». Соответственно, для расшифровки используется та же таблица 2, но в обратную сторону, и получается исходная информация: «cryptographic strength». Примерами шифров замены являются Плейфейера, Хилла.

Слабость этого шифра, сразу бросающаяся в глаза, заключается в частоте использования букв в языке, при условии, что рассматриваемый шифр моноалфавитный, т. е. задействуется лишь один алфавит. Для дешифровки, процесса получения исходных данных путём криптоанализа, потребуется использовать частотный анализ текста. Этот способ состоит в том, что вычисляется доля содержания той или иной буквы в зашифрованном тексте и сравнивается с примерной статистикой частоты употребления букв или сочетаний букв в языке. Сперва подбираются наиболее используемые буквы и словосочетания, находятся кратчайшие нерасшифрованные слова, содержащие их, частотным методом или методом перебора до обретения словом смысла определяются оставшиеся шифрованные буквы. Так шаг за шагом дешифруются все остальные символы.

Для усиления шифра требуется сделать менее заметной структуру шифрованного сообщения. В этом могут помочь методы:

1) Многобуквенного шифрования
2) Использование нескольких алфавитов
3) Полиалфавитного шифрования

Отличие многобуквенного шифрования заключается в замене не отдельных букв, а их комбинаций. Шифр Плейфейера базируется на этом методе. Биграммы, сочетания двух букв, преобразуются в зашифрованные биграммы в соответствии с заданными ранее условиями замены. В шифре Хилла же несколько последовательных символов заменяются равным количеством символов шифрованного текста. К такому шифрованному сообщению гораздо сложнее использовать частотный способ анализа текста. Принцип полиалфавитного шифрования в том, что применяются несколько моноалфавитных подстановок в соответствии с заранее выбранными условиями. Ключ определяет очередность преобразований информации в зависимости от стадии.

Ещё один способ защиты информации – шифр перестановки. Его суть в изменении последовательности символов открытого текста определенным образом. Например, способ перестановки столбцов. Используется в наши дни только в симбиозе с другими шифрами ради их усовершенствования. Такие шифры называют продукционными.

Продукционные (комбинированные) шифры базируются на некотором количестве комбинаций различных методов шифрования, к примеру замены и перестановки. В современных условиях этот способ является актуальным и применяется во многих современных системах шифрования.

Методы шифрования различают по количества ключей. Шифрование, в котором шифровка и расшифровка данных производится одним секретным ключом, называют симметричным. Разобранный в начале статьи шифр сдвига служит ярким примером такой системы. Так же к ней относят DES, CAST и другие. При пользовании данным способом важной задачей является выбор криптостойкого ключа. Кроме того, требуется обеспечить надежную передачу ключа получателю, так как его перехват ставит под угрозу сохранность зашифрованной информации.

Если в системе используются разные ключи для процессов шифрования и расшифрования, то её называют асимметричной или системой с открытым ключом. Секретным в таком шифровании остается только ключ расшифровки. Таким образом решается проблема с передачей ключа по защищенному каналу. Лицу, генерирующему оба ключа, достаточно передать открытый ключ оппоненту, с помощью которого можно лишь необратимо зашифровать информацию. Соответственно приватный ключ расшифровки избегает риска быть перехваченным.

RSA система является одной из первых асимметричных систем. Название системы представляет собой аббревиатуру Rivest Shamir Adleman, обозначающую фамилии его создателей: Рона Ривеста, Леонарда Адлемана и Ади Шамира. Процесс шифрования начинается с генерации открытого и секретного ключей. Для начала выбираются два неравных друг другу простых числа p и q, которые в дальнейшем сохраняются в тайне. Пусть p=3, а q=5. Далее находится модуль n, который равен их произведению. В данном случае n=3*5=15. После вычисляется функция Эйлера по формуле 1.

$$\varphi(n) = (p-1) * (q-1) \quad (1)$$

Выходит, что $\varphi(15) = 8$. Теперь дело за выбором открытого ключа e, с помощью которого будет производиться шифрование. Это число должно быть простым, взаимно простым с φ, меньше φ. Пусть e=3, что соответствует всем заданным условиям. Осталось только сгенерировать секретный ключ d, который должен быть обратным е по модулю φ. Это значит, что полученный остаток при делении произведения $d * e$ на модуль φ должен быть равен 1.

$$(d * e) mod \varphi = 1 \quad (2)$$

В результате вычислений d принимается равным 3 ради упрощения примера. Для шифрования будут использованы e и n, а для расшифровки d и n. В данном случае рассматривается простейший способ, буквы заданного слова заменяются по порядку числами десятичной системы с учетом того, что каждое число меньше n. На первом этапе шифрования каждое число возводится в степень e. На втором вычисляется остаток от деления по модулю n полученных ранее значений. Это и есть шифрованное сообщение. Расшифровка происходит по такому же принципу, лишь секретный ключ сменяет открытый. Пусть словом будет «девиз». Процесс представлен наглядно в таблице 3.

Естественно, данный пример является простейшим.

Пример шифрования RSA Таблица 3

Действия	Д	Е	В	И	З
Замена	5	6	3	10	9
^3	125	216	27	1000	729
mod 15	5	6	12	10	9
^3	125	216	1728	1000	729
mod 15	5	6	3	10	9
Расшифровка	Д	Е	В	И	З

Шифрование по буквам, малые значения простых чисел и ключей, совпадение ключей, чего на практике происходить не должно, и так далее. В реально используемых системах для получения модуля перемножаются огромные простые числа, ключи так же имеют гораздо большие значения. К тому же, шифрование по буквам довольно уязвимый элемент, так как каждая буква заменятся соответствующим символом, сохраняются элементы текста, например, пробелы. Перехватив достаточно большое сообщение, криптоаналитик перестанет нуждаться в вычислении ключа, просто использует метод перебора. Вариантом защиты в таком случае служат специальные алгоритмы. При их применении на каждую последующую букву будут влиять все предыдущие, в результате чего информация станет запутанной.

Главное достоинство шифра RSA заключается в том, что чрезвычайно трудно разложить n на взаимно простые множители p и q из-за их огромных значений и, как следствие, получить значение d. Перехват открытого ключа не представляет угрозы, так как обратно расшифровать сообщение им нельзя, а вычислить d по нему невозможно. Это называется «задачей факторизации больших чисел» или «задачей факторинга».

По методу обработки исходных данных шифрование делится на поточное и блочное. При поточном шифровании каждый символ текста шифруется отдельно и последовательно заранее определенным алгоритмом. Шифры Вернама и Вижинера являются примерами такой системы. Считается, что поточные шифры имеют меньшую область применения и меньший потенциал по сравнению с блочными, по этой причине они изучены несколько хуже.

В блочных шифрах исходный текст делится на блоки, каждый из которых содержит по несколько символов. Эти блоки шифруются отдельно друг от друга, преобразовываясь в блоки шифрованного текста соответствующей длины. Многие шифры базируются на этой системе. Среди них шифр Фейстеля, DES и 3DES.

Шифр Фейстеля, так же называемый сетью Фейстеля, был разработан в 1971 году Хорстом Фейстелем. Система параллельно оперирует блоками открытого текста. Каждый блок делится на две части, левую и правую. Далее левая часть блока преобразуется любой выбранной функцией f с применением раундового ключа k, правая часть остается неизменной. После левый и правый подблоки складываются по модулю 2. Полученный результат переносится на правую сторону, а нетронутая правая часть на левую. Следующий раунд проходит по этой же схеме с применением следующего раундового ключа.

Пусть открытый текст «криптография», раундов 2, k=[1,2], а f – функция сдвига на k позиций влево. Для начала слово разбивается на блоки «крипто» и «графия», после чего текст переводится в двоичный код для сложения по модулю 2. В данном случае перевод осуществляется в соответствии с системой МТК-2.

Перевод блока в двоичную систему Таблица 4

К	Р	И	П	Т	О
11110	01010	01100	01101	00001	00011

После всех проделанных действий схемы, изображенной на рисунке 1, «КРИПТО» преобразовалось в «ЗЫЙХЗЬ». Аналогично шифруется и второй блок «ГРАФИЯ». Расшифрование осуществляется таким же способом, только раундовые ключи используются в обратном порядке. Считается, что при независимых ключах и правильно подобранной криптостойкой функции f хватит трех раундов сети Фейстеля для получения случайного криптостойкого шифрованного текста.

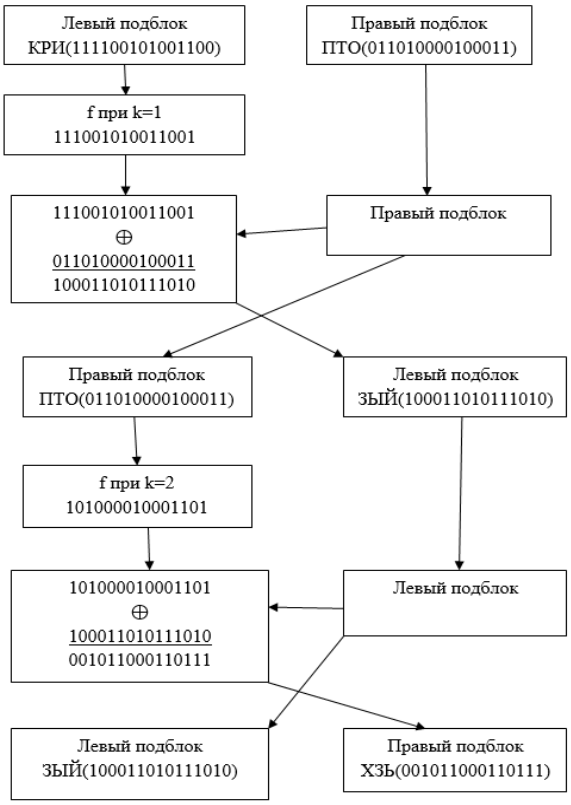


Рисунок 1 – Сеть Фейстеля из двух раундов

Шифр DES (Data Encryption Standard) по принципу действия представляет собой сеть Фейстеля из 16 раундов. Раундовый ключ в нем равен 48 бит, а длина одного блока данных 64 бит. После деления текста на блоки и генерации раундовых ключей каждый блок подвергается заранее определенному шифру перестановки. Далее блок делится на подблоки и преображается средством сети Фейстеля, в которой проходит 16 раундов. Получившиеся половинки соединяются и проходят завершающую перестановку. Функция сети Фейстеля в данном случае осуществляет и перестановку, и замену, и сложение с раундовым ключом. Расшифровка производится аналогично, в обратном порядке. На рисунке 2 представлена наглядная блок-схема DES.

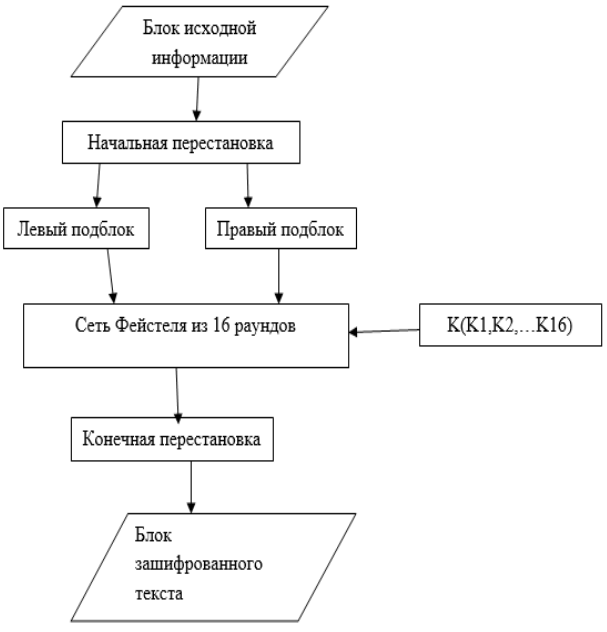


Рисунок 2 – Схема работы DES

С ростом вычислительных мощностей для шифра DES ребром встала проблема бутфорса. Бутфорс – это метод грубой силы, перебора всех возможных

вариантов. Для укрепления шифра криптографы решили использовать двойной DES с двумя ключами. Но этот метод оказался уязвим к так называемой «встрече посередине». Его реализация требует знания криптоаналитиком открытого и соответствующего ему зашифрованного текстов. Открытый текст шифруется всеми возможными ключами, зашифрованный текст расшифровывается всеми возможными ключами, после находятся совпадения. Для реализации такой атаки требуется много вычислительной мощности и большой объем памяти, но тем не менее она осуществима.

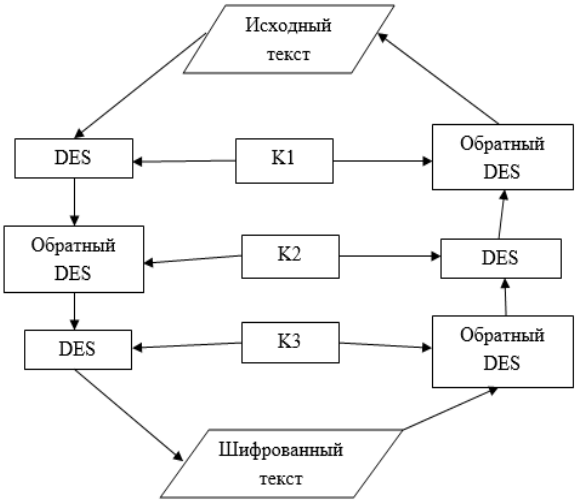


Рисунок 3 – Схема работы 3DES

Шифр 3DES в этом плане куда более совершенен и пригоден. В нем был несколько изменен принцип шифрования, что значительно укрепило криптозащиту и продлило применяемость шифра. На рисунке 3 приведена примерная схема работы 3DES.

Шифры семейства DES примечательны тем, что они обладают двумя важными свойствами: лавинностью и полнотой. Под лавинностью понимается то, что даже небольшие изменения в открытом тексте или ключе сильно влияют на итоговый вид зашифрованных данных. А полнота – это свойство шифра, при котором каждый бит шифрованного текста зависит от многих других битов исходного сообщения.

В настоящее время DES и RSA шифрование редко используется на практике, но они служат основами и прообразами для многих современных шифров и ещё не скоро будут забыты. В данном случае 3DES не является подходящим примером, так как этот шифр тоже постепенно устаревает. Кроме того, на базе DES существуют гораздо более изощрённые системы, чем 3DES. Подобно DES и RSA, несколько отличных, на время своего создания, систем шифрования постепенно сменяются более совершенными и скоро перестанут использоваться в первозданном виде, если уже не перестали. Среди них Blowfish, МАГМА, AES, IDEA и другие.

Но каким бы не был метод шифрования, его криптостойкость не должна опираться на факт секретности алгоритма. Такая система рано или поздно обречена на провал, она просто станет непригодной для использования после раскрытия алгоритма. Поэтому в большинстве случаев стоит опираться на правило Керкхоффа: «Стойкость шифра должна определяться только секретностью и криптостойкостью ключа». Именно по этой причине лучшие системы шифрования те, алгоритмы которых были опубликованы, но так и не были вскрыты за долгие годы криптоанализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданов, О. Н. Методика выбора ключевой информации для алгоритма блочного шифрования / О.Н. Жданов. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 607 с.

2. Герман, О. Н. Теоретико-числовые методы в криптографии / О.Н. Герман, Ю.В. Нестеренко. – М.: Академия, 2012. – 272 с.

3. Бабенко, Л. К. Современные алгоритмы блочного шифрования и методы их анализа / Л.К. Бабенко, Е.А. Ищукова. – М.: Гелиос АРВ, 2006. – 376 с.

4. Бабаш, А. В. История криптографии. Часть I / А.В. Бабаш, Г.П. Шанкин. – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 240 с.

5. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://vuzlit.ru/991977/tipy_kriptosistem (дата обращения 25.11.2019)

6. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://xakep.ru/2016/04/21/crypto-part3/ (дата обращения 27.11.2019)

УДК 618.614

Гордеева Е.В., Данилова Е.А., Шорников Ю.Е., Подсякина А.Ю.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

АНАЛИЗ АЛГОРИТМА РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИНЕЙКУ

В статье рассмотрены основные положения алгоритма размещения электрорадиоэлементов (ЭРЭ) в линейку, изложены основы оптимального размещения, базирующиеся на критерии «суммарная длина связи». Проведен анализ критериев оптимального размещения по электромагнитной совместимости и температурному балансу.

Ключевые слова:

АЛГОРИТМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ, ГРАФ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ, ТЕМПЕРАТУРНЫЙ БАЛАНС, СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПЕЧАТНЫЙ УЗЕЛ

За прошедшие годы электронные вычислительные машины претерпели колоссальные изменения. Они стали более надежными, устойчивыми в процессе эксплуатации, а также расширилась их область применения. В современном мире создание новых средств радиоэлектроники и вычислительной техники зависит от того, как будет решена проблема автоматизации проектирования. Сложность аппаратуры радиоэлектронной и вычислительной техники на данный момент достигает такого уровня, что эффективность труда человека-проектировщика падает, а число ошибок возрастает. Поэтому автоматизация конструирования — это способ повышения производительности, снижения стоимости и повышение качества конструкторской документации [1].

Правильность выбора алгоритмов является одним из факторов, определяющим экономическую эффективность использования систем автоматизированного проектирования (САПР). Основное внимание при создании САПР уделяется улучшению качества конструирования и созданию средств, обеспечивающих решение принципиально новых задач, обусловленных техническим прогрессом [4].

В статье рассмотрены алгоритмы размещения, а именно, алгоритм размещение элементов в линейку, задача которого заключается в том, чтобы разместить элементы в линейку с заданным критерием оптимальности.

При изучении данного алгоритма чаще всего критерием оптимальности принимается суммарная длина связи. При этом суть алгоритма заключается в следующем: исходные данные описываются связанным графом. Граф представляется в виде матрицы связности размером $m*n$, где m, n длина и ширина матрицы соответственно. На первом шаге определяется суммарная длина связей у элемента. На втором этапе на вакантное место выбирается элемент, имеющий минимальное значение суммарной длины соединения. Если имеются элементы с одинаковой минимальной суммарной длины соединения,

то из них выбирается любое. На следующее вакантное место из оставшихся выбирается элемент, у которого минимальна суммарная длина соединения. Указанные действия повторяются пока не будут размещены все элементы.

Кроме суммарной длины связи оптимальность может достигаться и по другим критериям, в частности по электромагнитной совместимости и температурному балансу. При этом суммарная длина связи считается равной единице.

При рассмотрении в качестве критерия электромагнитной совместимости исходят из того, что каждый компонент печатного узла (ПУ) обладает характерным электромагнитным излучением. Данное излучение может вносить помехи в работу некоторых элементов, либо вовсе нарушать его нормальное функционирование. Размещение значительно снижает влияние несовместимых элементов ПУ друг на друга, что положительно сказывается на их работе.

Под электромагнитной совместимостью будем понимать способность нормальной работы электрооборудования в условиях электромагнитных воздействий со стороны окружающей среды, а также способность не отказывать негативного воздействия на электрооборудование, находящееся в ней [3].

Измерения электромагнитного излучения проводятся в частотной области с помощью тестового приёмника или анализатора спектра. Данные приборы позволяют производить оценку различных характеристик помех путём измерения их пикового, среднего или эффективного значения. При этом измерения проводятся относительно определённого уровня, что позволяет осуществлять удобную индикацию при измерении физических величин от мкВ до В. Показания прибора соответствуют логарифмическому отношению амплитуды сигнала к опорному значению (это опорное значение в технике связи принято называть эффективной мощностью или мощностью помех).

Уровень мощности определяется как умноженный на десять десятичный логарифм отношения мощности измеряемого сигнала (P_x) к эффективной мощности (P_0) и выражается в децибелах [3]:

$$p = 10 * \log_{10} \frac{P_x}{P_0}, \text{дБ} \quad (1)$$

В технике принято считать, что величина опорной (эффективной) мощности равна 1 мВт. Уровень напряжения или напряжённости поля, полученный в ходе измерения электромагнитного излучения, имеет размерность дБмкВ или дБмкВ/м соответственно, а формула для него может быть выведена из выражения для уровня мощности. Величине 0 дБмкВ соответствует опорное значение 1 мкВ. Следовательно, для систем с волновым сопротивлением 50 Ом измеренное значение уровня мощности 0 дБм соответствует уровню напряжения 107 дБмкВ. Формула для уровня напряжения [3]:

$$p = 20 * \log_{10} \frac{U_x}{U_0}, \text{дБмкВ} \quad (2)$$

При этом на сколько будет чувствителен приемник электромагнитных помех зависит от установленной рабочей частоты в соответствии со стандартом *CISPR16*.

Если рассматривается критерий равномерного распределения температуры, то исходят в первую очередь из того, что каждый элемент ПУ излучает некое количество тепла.

При этом перегрев отдельных частей крайне негативно сказывается на работоспособности аппаратуры. Во-первых, для решения этой проблемы нужно отсортировать массив температур компонентов по убыванию (возрастанию). Во-вторых, установить на очередную ячейку ПУ компонент с наименьшей температурой, после этого исключить данный элемент из массива температур. В-третьих, установить на очередную ячейку ПУ компонент с наибольшей температурой, после этого исключить данный элемент из массива температур. И так повторять шаги до тех пор, пока имеются неразмещенные элементы.

Размещение элементов по температурному балансу — это сопоставление прихода и расхода теплоты и определяется по закону Джоуля-Ленца [2]. Экспериментально установлено, что количество теплоты, выделившееся при прохождении электрического тока по проводнику, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени, в течение которого протекал электрический ток [2].

$$Q = I^2Rt \quad (3)$$

При прохождении тока через проводник, всегда выделяется тепло. И если произойдет, перегрев проводника и в следствии электротехнического устройства, то это приведет к их повреждению и выходу из строя. Особенно опасен перегрев при коротком замыкании проводов, то есть при электрическом соединении проводников, подводящих электрическую энергию к потребителю. При коротком замыкании обычно сопротивление остающихся под током проводников мало, ток из-за этого достигает большой силы, и тепло выделяется в таком количестве, которое вызывает аварию.

Перечисленные критерии являются наиболее значимыми при размещении электрорадиоэлементов на печатной плате. В зависимости от условий эксплуатации и параметров элементов происходит чередование важности критериев для каждого случая. Для нахождения оптимального решения размещения элементов предпочтительнее анализировать алгоритм по всем перечисленным критериям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев О.В. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств. - М.: Высшая школа, 2001.

2. Закон Джоуля-Ленца [Электронный ресурс]/ Режим доступа: http://www.fizika.ru/ (Дата обращения: 06.10.2019)

3. Малков, Н.А, Пудовкин, А.П. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. – Т.: «Издательство ТГТУ», 2007 –88 с.

4. Савельев, М.В. Конструкторско-техническое обеспечение производства ЭВМ. - М.: Высшая школа. 2001.

5. Андреев, П.Г., Мазанов, А.М., Приказчиков, А.В., Вершинин, А.Е., Подсякин, А.С. Структурно-параметрическая верификация электромагнитной совместимости элементов РЭС / П.Г. Андреев, А.М. Мазанов, А.В. Приказчиков, А.Е. Вершинин, А.С. Подсякин // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т. 2. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2017. – Т. 2. - С. 20-22.

6. Гришко А.К., Горячев Н.В., Юрков Н.К. Построение эффективной системы радиоэлектронных средств на основе анализа полумарковской модели обеспечения электромагнитной совместимости / А.К. Гришко, Н.В. Горячев, Н.К. Юрков // Проектирование и технология электронных средств. 2017. №4 - Владимир: Из-во ВГТУ, 2017. С. 18-25.

7. Рыбаков И.М., Горячев Н.В., Кочегаров И.И., Гришко А.К., Прошин А.А. Система измерения теплопроводности тел с внутренними источниками теплоты для контроля работоспособности современной ракетно-космической техники / И.М. Рыбаков, Н.В. Горячев, И.И. Кочегаров, А.К. Гришко, А.А. Прошин // XXI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018): Сборник докладов. Т1 - СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. – Т. 1. - С. 558-561.

8. Герасимова Ю.Е., Гришко А.К. Разработка алгоритма топологической верификации электромагнитной совместимости для информационных систем проектирования радиоэлектронных средств / Ю.Е. Герасимова, А.К. Гришко // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы: Сборник научных статей IV ежегодной межвузовской научно-практической конференции. - Пенза: ПГУ, 2017. - С. 280-283.

УДК 618.614

Лапшин Э.В., Байгузова А.В., Шорников Ю.Е.
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЕЁ РАЗРАБОТКОЙ

ВВЕДЕНИЕ

настоящее время электронные средства применяются практически во всех отраслях хозяйства и потребность в них все более и более возрастает. Темпы развития радиоэлектроники требуют повышения технологического уровня ЭС, который определяется повышением требований к надежности, обеспечением защиты от дестабилизирующих факторов и сокращением отходов при их производстве или использование технологий безотходного производства. Реализация этих требований зависит от достижений в области конструирования и технологии производства ЭС. Все это ведет к необходимости разработки новых конструкций, поэтому подготовка инженеров конструкторов-технологов по направлению «Проектирование и технология ЭС» должна опираться на высокую конструкторскую базу.

ОСОБЕННОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ ВНУТРЕННИХ СВЯЗЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Конструирование ЭС определяется особенностью организации внутренних связей, когда кроме пространственных и механических связей необходимо реализовать электрические, магнитные, акустоэлектрические и уменьшить до допустимых пределов паразитные электромагнитные и тепловые связи. Эти особенности настолько существенны, что выделяют конструирование ЭС в отдельную отрасль.

В настоящее время существует целый ряд работ, по которым готовят специалистов, однако возрастание такой информации делает актуальной отражение достижений в области конструирования ЭС. Принципиальным является постепенное введение читателя в проблемы конструирования, что дает возможность полноценно усвоить основные понятия и определения вместе с последующим нарастанием сложности материала.

На данном этапе развития радиоэлектроники значительное внимание уделяют системному подходу при разработке ЭС, что позволяет учитывать всю последовательность этого сложного процесса (проектирования, изготовления, испытания, эксплуатации и утилизации).

Так как конструирование является раскрытием геометрической формы конструкции, обеспечивающей заданные параметры ЭС при наилучшем использовании материалов с анализом связей параметров конструкции с ее геометрией и свойствами материалов.

Развитие радиоэлектроники оказывает существенное влияние на научно-технический прогресс и успехи в социально-экономической области. Машиностроение, которое играет ключевую роль в ускорении научно-технического прогресса, нуждается в надежно работающих сложных изделиях радиоэлектроники, органически входящих в качестве комплектующих элементов в станки, роботы и другие устройства гибких производственных систем. Транспорт, энергетика, космические системы и другие направления нашей экономики, где велики последствия одного единственного отказа, также нуждаются в высоконадежных изделиях радиоэлектроники. Надежность этих изделий закладывается при их проектировании, обеспечивается при производстве, поддерживается при эксплуатации в составе ЭС. С другой стороны, изделия радиоэлектроники должны рассматриваться как результат разработки схемы, конструкции и технологии.

Радиотехника – область науки и техники, связанная с генерированием, преобразованием, излучением и приемом электромагнитных колебаний волн радиочастотного диапазона. В соответствии с международным регламентом границы радиочастот лежат в пределах 3 кГц...3 ГГц, которым соответствуют длины волн от 100 км до 0,1 мм. Таким образом, радиотехника является частью радиоэлектроники. Кроме того, к радиоэлектронике относят технику инфранизких частот, инфракрасную технику и оптоэлектронику. С технической стороны радиоэлектроника также охватывает автоматику, техническую кибернетику, вычислительную технику и электронику.

Как отрасль промышленности радиотехника связана с разработкой, производством и применением радиоаппаратуры для радиосвязи, радиовещания, телевидения, радиолокации, радионавигации и других направлений техники передачи информации. В более широком смысле вместо слова радиоаппаратура применяется термин электронные средства, под которым подразумеваются приборы и технические устройства, предназначенные для преобразования электрических и электромагнитных сигналов с определенными целями. Наиболее общим названием изделий радиоэлектроники, рекомендованным в стандартах, является термин радиоэлектронное средство, понимаемый как техническое изделие определенной сложности или его составная часть, в основу действия которого положены принципы радиотехники и электроники. По функциональной сложности ЭС разделяют на уровни: система, комплекс, устройство, узел. Радиоэлектронная система – это совокупность функционально взаимодействующих автономных радиоэлектронных комплексов и устройств, которые образуют целостное единство, обладающее свойством перестроения структуры в целях рационального выбора и использования входящих средств нижних уровней при решении технических задач. Примером может служить аэродромная автоматизированная система управления воздушным движением, которая производит измерения траекторных параметров самолетов и управление ими при полетах по кругу в районе аэродрома. В состав такой системы входят бортовой радиоэлектронный комплекс и наземные радиолокационный и вычислительный комплексы, которые, в свою очередь, состоят из радиоэлектронных устройств, т.е. ЭС более низкого уровня. Перестроение структуры данной системы вызывается условиями воздушной обстановки в районе аэродрома, в зависимости от интенсивности воздушного движения назначается оптимальная (с точки зрения безопасности) совокупность работающих ЭС.

Разновидностью радиоэлектронной системы является радиотехническая система, под которой понимают совокупность ЭС для передачи сообщений и команд по радиоканалам, состоящих из радиопередатчиков, линий радиосвязи и радиоприемников. Другой важной разновидностью радиоэлектронной системы служит вычислительная система, определяемая как взаимосвязанная совокупность вычислительных комплексов и устройств, согласованных по быстродействию, пропускной способности и другим параметрам. Отличительным признаком как радиотехнической, так и вычислительной системы является возможность перестроения ее структуры с целью наиболее эффективного использования входящих в систему технических средств.

Примером может служить радиолокационный комплекс, состоящий из дальномера, высотомера и устройства опознавания и предназначенный для обнаружения объекта, определения его координат и установления принадлежности. При выходе из строя одного из устройств, входящих в комплекс, изменяются связи между ними, обеспечивая решение задачи при пониженной точности определения параметров объекта.

Примером радиоэлектронного устройства является метеонавигационный бортовой радиолокатор, который может быть выполнен на несущей конструкции в виде корпуса шкафа или блока. Данный радиолокатор предназначен для выполнения технической задачи по обнаружению с борта летательного аппарата опасных для полета гидрометеорологических образований и определению их углового положения и удаленности. Он состоит из совокупности функционально законченных сборочных единиц:

антенного, передающего и приемного устройств, а также устройств преобразования и отображения информации, каждое из которых также может быть отдельным примером радиоэлектронного устройства.

Примером радиоэлектронного устройства является метеонавигационный бортовой радиолокатор, который может быть выполнен на несущей конструкции в виде корпуса или блока. Данный радиолокатор предназначен для выполнения технической задачи по обнаружению с борта летательного аппарата опасных для полета гидрометеорологических образований и определению их углового положения и удаленности. Он состоит из совокупности функционально законченных сборочных единиц: антенного, передающего и приемного устройств, а также устройств преобразования и отображения информации, каждое из которых также может быть отдельным примером радиоэлектронного устройства.

Примером радиоэлектронного устройства является метеонавигационный бортовой радиолокатор, который может быть выполнен на несущей конструкции в виде корпуса шкафа или блока. Данный радиолокатор предназначен для выполнения технической задачи по обнаружению с борта летательного аппарата опасных для полета гидрометеорологических образований и определению их углового положения и удаленности. Он состоит из совокупности функционально законченных сборочных единиц: антенного, передающего и приемного устройств, а также устройств преобразования и отображения информации, каждое из которых также может быть отдельным примером РЭУ.

Еще одной иллюстрацией РЭУ может служить курсовой радиомаяк, предназначенный для изучения радиосигналов, содержащих информацию для управления самолетом по азимуту при заходе на посадку и во время посадки.

Каждый из рассмотренных РЭУ может эксплуатироваться самостоятельно или в составе РЭК (РЭ системы). Любое РЭУ структурно разделяется на радиоэлектронные функциональные узлы, которые являются ЭС первого уровня, состоящие, в свою очередь, из элементов нулевого уровня функциональной иерархии: радиоэлементов (РЭ) и электротехнических элементов (ЭЭ).

Схемотехника – прикладная научная дисциплина, занимающаяся анализом и синтезом электрических схем ЭС. Теоретическим фундаментом схемотехники является радиотехника.

Надежность – это свойство ЭС сохранять во времени в установленных пределах значения всех требуемых характеристик, параметров и показателей при заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

Различают два понимания термина «конструирование». Конструирование ЭС как вид инженерной деятельности есть совокупность работ, выполняемых при создании проекта конструкции аппаратуры. Конструирование ЭС как прикладная научная дисциплина – это обобщение методов анализа и синтеза конструкций. Теоретический фундамент конструирования ЭС составляют: системный анализ, математическое моделирование, исследование операций, планирование эксперимента, теория вероятностей и математическая статистика, теория надежности, теория оптимизации и другие научные направления. В настоящее время на основе этих фундаментальных направлений формируется самостоятельная теория конструирования ЭС как система научных принципов и общих закономерностей разработки конструкций в радиоэлектронике. Ускоренного развития теории конструирования ЭС требуют применения компьютеров как главной технической базы разработки конструкций, усложнение практических задач создания конструкций и усиление взаимосвязи конструирования с системотехникой, схемотехникой, технологией и эксплуатацией ЭС.

В настоящее время получает развитие принципиально новая технология проектирования, сущность которой заключается в замене объекта проектирования его моделью и дальнейшем ее исследовании с помощью компьютера. Таким образом, физический эксперимент на макетах и опытных образцах заменяется вычислительным экспериментом на математических моделях ЭС и технологических процессов. Именно математическое моделирование на компьютере позволяет на стадии создания проекта аппаратуры в короткие сроки провести большой объем расчетов и исследований, отработать проект с целью исключения отказов при эксплуатации. В материал настоящего учебника включены основные вопросы, освещающие указанный выше современный подход к конструированию и производству высоконадежного ЭС. Ключевым моментом данного подхода является математическое моделирование на компьютере.

Основным препятствием для широкого использования математического моделирования в науке, технике, управлении является недостаток квалифицированных специалистов. Требования, предъявляемые к специалисту в области математического моделирования, весьма высоки и вместе с тем противоречивы. С одной стороны, он должен быть профессионалом, глубоко понимающим достаточно узкую конкретную область исследований. С другой стороны, ему часто приходится выступать как ученому, который видит проблему в целом и способен уточнить, а иногда и радикально изменить постановку задачи, предложенную физиками, химиками или биологами. Работа в области математического моделирования предполагает своеобразный стиль мышления, в котором глубина и конкретность сочетаются с широтой и пониманием общих идей. Поэтому изучение методологии математического моделирования должно занимать важное место в современном университетском образовании

Трудности здесь состоят в том, что разные физические процессы, протекающие в аппаратуре, описываются различными законами, например электрические процессы в цепях с сосредоточенными параметрами – обыкновенными дифференциальными уравнениями, а в цепях с распределенными параметрами – волновыми уравнениями, тепловые процессы в элементах конструкций – уравнениями теплопроводности в частных производных второго порядка, а механические процессы колебаний печатных узлов – бигармоническими уравнениями в частных производных четвертого порядка. С учетом граничных условий согласовать такие разные модели между собой, чтобы соединить их вместе в единую машинную модель аппаратуры, очень трудно из-за больших затрат вычислительных ресурсов компьютеров.

Выход из создавшегося положения лежит в унификации математических моделей разнородных физических процессов, что значительно снижает трудоемкость соединения их в единую комплексную модель и позволяет провести системный анализ надежности проектируемой аппаратуры с помощью компьютеров.

Высокие технологии и электротехнические изделия прочно вошли в жизнь современного человека, став неотъемлемой частью его быта, работы и отдыха. В связи с этим потребление электронных изделий постоянно возрастает.

Такими же темпами нарастает и объем высокотехнологичных отходов, таких как, компьютерная техника и другая электроника стремительно устаревает «морально», не успев потерять потребительских свойств. На сегодняшний день правовая, технологическая и производственная база утилизации высокотехнологичных отходов находится на зачаточном уровне и не удовлетворяет потребностям современного общества.

По оценкам, во всем мире ежегодно генерируется более 40 миллионов тонн электронных отходов, и ожидается, что в обозримом будущем это будет стремительно расти. В настоящее время широко признается проблема электронных отходов, с которыми сталкиваются общества потребителей, такие как Австралия.

В Австралии производство электронных отходов превышает 100 000 тонн (а в других государствах), и в то время как точные данные о том, где заканчиваются эти электронные отходы, трудно найти, Австралийское статистическое бюро оценило в 2010 году, что половина произведенных электронных отходов была захоронена на складах, хранилась или сжигалась,

К счастью, существует значительная мотивация для обработки электронных отходов, поскольку она, как правило, богата драгоценными металлами - золотом, серебром и палладием, и неблагородными металлами, такими как медь, алюминий и железо. Редкоземельные металлы, связанные с батареями, также очень высоки в экономической ценности. Драгоценные металлы составляют почти 80 процентов стоимости печатных плат и во много раз богаче, чем руды, которые мы добываем для этих материалов, поэтому, если они отделены от оболочек и других материалов, они представляют собой очень привлекательную «городскую руду».

Существуют также явно опасные материалы, связанные с электронными отходами, такими как ртуть, свинец, мышьяк и сурьма. Кроме того, при отделении ценных материалов от менее ценных (либо путем нагревания, либо с использованием сильных химических веществ) будут возникать проблемы вокруг содержания и стабилизации потоков отходов, образующихся в процессе.

Эти проблемы разрешимы (построены на основе улучшенного экологического контроля), но требуют инвестиций, хороших правил и высоких уровней технологий.

Заключение

В целом, подводя итоги можно сказать, что многоаспектность факторов и связей, которые оказывают воздействие на активизацию научно-исследовательской и внедренческой деятельности, взаимоотношения государства, науки, бизнеса и общества являются основой общенациональной программы технологической и инновационной направленности развития. Новые и инновационные идеи являются началом технологического прогресса, но именно инженеры воплощают новые идеи в продукты и услуги, которые являются коммерчески привлекательными на внутреннем и международном рынках. Инжиниринг и его непрерывное развитие в последние десятилетия эффективно используют знания математики и естественных наук для решения реальных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миронова В.Н. Основные направления инновационного развития экономики Австралии // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2.; URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=22596 (дата обращения: 06.04.2020).

2. Мир знаний/ Особенности окружающей среды международного бизнеса в Австралии (стр. 3 из 7) [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://mirznanii.com/a/140129-3/osobennosti-okruzhayushchey-sredy-mezhdunarodnogo-biznesa-v-avstralii-3/ (Дата обращения: 06.04.2020)

УДК 53.082.56

Щербакова А.А., Савицкий В.Я., Кабина С.В., Туляков К.П.

Пензенский Филиал военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, Пенза, Россия

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВ

В статье рассмотрена разработка алгоритма функционирования автоматизированной системы оценки эксплуатационных характеристик топлив. Система предназначена для идентификации компонентов и определения состава топлив с использованием их спектральных характеристик и принципов искусственных нейронных сетей, обучающихся учителем, в качестве которого выступают тестовые топлива и компоненты.

Использованы методы: решения некорректных задач при спектральном анализе, теория искусственных нейронных сетей, методы математического моделирования, теория информации, теория точности измерительных систем статистической обработки данных, метод энергетического расчета, моделирование в программных средах visual basic for applications (VBA) Microsoft Excel.

Разработанная система может использоваться в качестве бортовой автоматизированной системы роботизированного диагностического комплекса технической разведки или мобильной лаборатории подвижных ремонтных мастерских. Разработанный алгоритм идентификации и математические модели позволят с использованием лазеров ближнего инфракрасного излучения реализовать методику анализа дизельных топлив и рабочих жидкостей.

Ключевые слова:

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА, СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПЛИВ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ

Введение

Для разработки новых технических решений по созданию и совершенствованию интеллектуальных производственных технологий, роботизированных систем обработки многомерных данных и искусственного интеллекта, а также решения задачи оперативного измерения в режиме реального времени с улучшенными техническими характеристиками необходимо измерительную часть построить на основе волоконно-оптического принципа [1,2], который позволяет создать систему, работающую в искро-взрыво-пожароопасных условиях эксплуатации.

Решение этой задачи включает в себя: разработку структуры спектрометрической системы оценки эксплуатационных характеристик топлив на основе волоконно-оптической измерительной подсистемы, работающей в искро-взрыво-пожароопасных условиях эксплуатации с увеличенным быстродействием; разработку алгоритма функционирования предлагаемой волоконно-оптической системы, обеспечивающей режим автоматической калибровки и измерения; разработку структуры искусственной нейронной сети, связывающей спектральные характеристики компонентов с составом исследуемых топлив; создание целевой функции для обучения искусственной нейронной сети по заданному составу топлива; разработку программного обеспечения обучения искусственной нейронной сети.

Основная часть

Автоматизированная система оценки эксплуатационных характеристик топлив, включающая источник излучения (лазер с длиной волны 405 нм), кювету с исследуемым образцом и спектрометр, структурная схема которой представлена на рисунке 1.

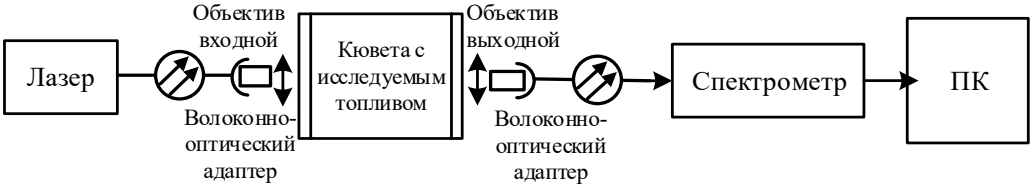


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированной системы оценки эксплуатационных характеристик топлив

Система имеет рабочий диапазон длин волн в видимая область (400-750нм), обладает достоверностью, стабильностью, точностью, однако высокое быстродействие при малых материалоемкости и энергоемкости требует оптимизации их схемных и конструктивных параметров [3]. Макет системы представлен на рисунке 2.

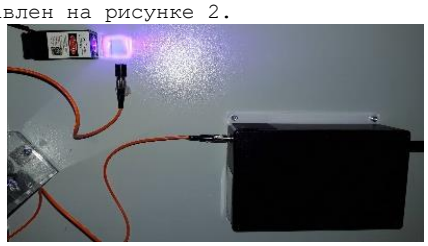


Рисунок 2 – Макет автоматизированной системы оценки эксплуатационных характеристик топлив

Совершенствование микропроцессорной техники позволяет одним микроконтроллером управлять работой информационно-измерительной системы, а также в режиме реального времени производить вычислительные и управляющие операции, автоматическую калибровку системы [4].

Калибровка системы необходима для того, чтобы учесть нелинейности фотометрической шкалы, изменение состояния поверхности оптических элементов, а также другие изменения оптического пути измерительного канала, которые могут быть связаны с заменой образца, грязью или прочим налетом, образованным на внутренней поверхности кюветы. Калибровка системы проводится с помощью настройки устройства преобразования и устройства обработки информации для выполнения указанных расчетов соотношений.

Оптическая схема системы предполагает в своем составе различные оптические элементы [5], на которых происходит рассеяние излучения, например, загрязнение кюветы, и иные незапланированные изменения оптических элементов существенно увеличивают рассеяние излучения, поэтому возникает задача регулярного учета величины рассеянного излучения в световом потоке, распространяющемся в измеряемом и сравнительном каналах. Преобразование светового потока в электрический сигнал фотоприемником, в общем случае, также может происходить нелинейно. Все это требует разработки такого метода автоматической калибровки измерения, который бы учитывал, как рассеяние излучения, так и различные нелинейности измерительной схемы [6], для этого ИИС помимо измерительного канала включает сравнительный канал.

Информационно-измерительная система для идентификации компонентов, определения состава и детонационной стойкости топлива представляет собой параметрический генератор излучения, соединенный посредством волоконно-оптического кабеля с проточной кюветой.

Алгоритм функционирования включает в себя процесс калибровки ИИС и измерения спектральных коэффициентов пропускания анализируемой жидкости. Отличие состоит в том, что при калибровке кювета заполняется тестовой жидкостью, а при измерении – анализируемой жидкостью.

Работа системы с полупроводниковым лазером начинается с калибровки системы, которая учитывает темновые токи спектрометра [5]. Алгоритм функционирования системы в режиме калибровки и измерения волоконно-оптической системы со спектрометром представлен на рисунке 3.

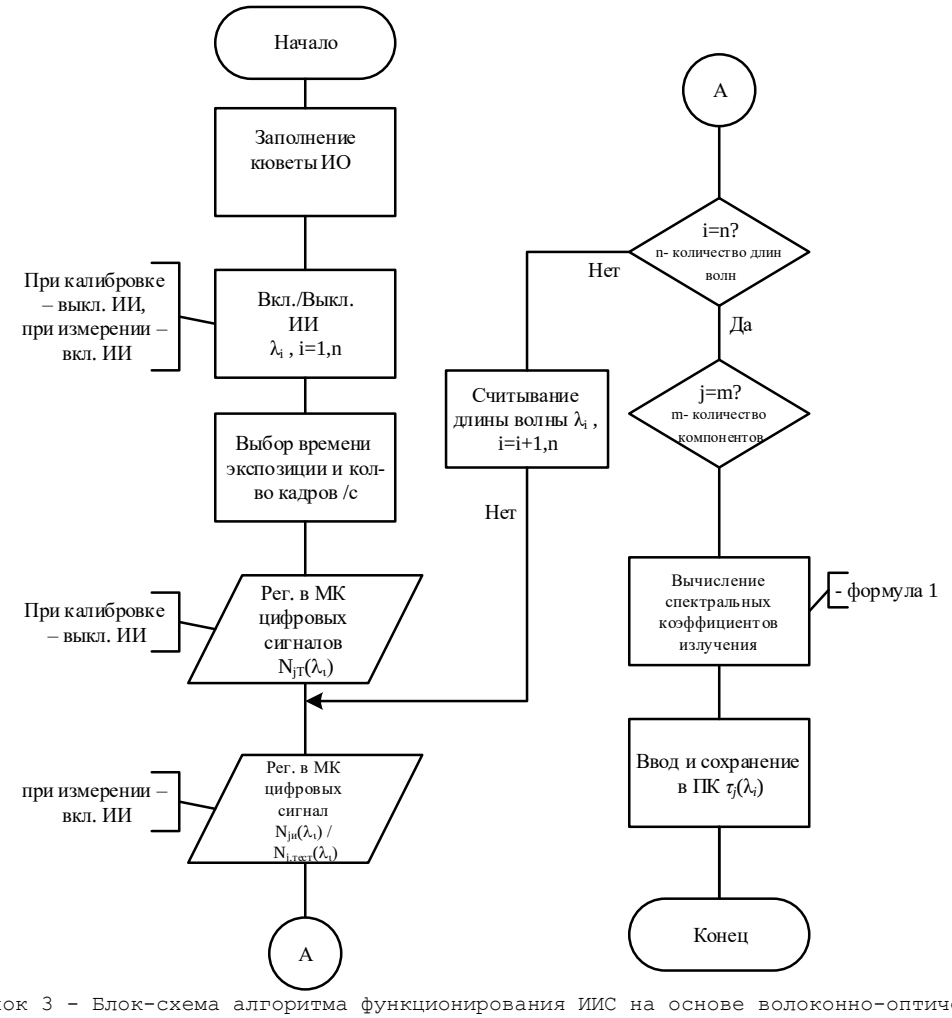


Рисунок 3 - Блок-схема алгоритма функционирования ИИС на основе волоконно-оптического измерительного канала

Кювета заполняется анализируемым компонентом с известными значениями $\tau_{тест}(\lambda_i)$. Сигналы $N_{и.тест.}(\lambda_i)$, снимаемые АЦП с выхода на всех длинах волн, можно представить следующей зависимостью:

$$N_{и.тест.}(\lambda_i) = \Phi_0(\lambda_i) \cdot K(\lambda_i) \cdot \tau_и(\lambda_i) \cdot \tau_в(\lambda_i) \cdot \tau_с(\lambda_i) + N_т(\lambda_i), \quad (1)$$

где $\Phi_0(\lambda_i)$ - поток излучения, вошедший в систему, $K(\lambda_i)$ - коэффициент передачи j-го оптического

тракта на i-ой длине волны (коэффициент отклонения при измерении спектральных коэффициентов пропускания), $\tau_{и}(\lambda_i)$ - спектральный коэффициент пропускания анализируемой жидкости, $\tau_{в}(\lambda_i)$ - спектральный коэффициент пропускания оптических элементов системы, $\tau_{к}(\lambda_i)$ - спектральный коэффициент пропускания кюветы, заполненной тестовым компонентом, $N_T(\lambda_i)$ - сигнал, полученный в режиме измерения темновых токов.

Опрос темновых токов проводиться перед каждым измерением, поскольку освещение изменяется существенно.

Для измерения необходимо запустить на компьютере программу Enhanced Spectrometry Educational *(ИнСпектр)*. Варьируя время экспозиции при регистрации спектра от 10 до 100 мс, необходимо подобрать экспозиции, при котором интенсивность самой интенсивной линии максимальна, но не превышает 64000 счетов в секунду (или активировать «авто»).

Далее необходимо выбрать время экспозиции так, чтобы максимально увеличить высоту второй (третьей, четвертой) по интенсивности линий спектра (не превышая высоту 64000 счета в секунду). При этом линии с большей интенсивностью запишите и сохраните полученные спектры.

Загружая поочередно сохраненные спектры в программу, измерьте длины волн (λ) всех четырех линий, интенсивность относительно наиболее интенсивной линии (в %):

$$I[\%] = Y[\text{счет/с}] \cdot 100 \,/\, Y_{max}[\text{счет/с}]. \quad (2)$$

Часть спектра можно увеличить, нажав кнопку под спектром. Длина волны в нанометрах (координата *X*) и интенсивность в числе счетов в секунду (координата *Y*) указывается в правом нижнем углу окна со спектром при наведении курсора, принимающего форму перекрестия.

По найденным спектральным коэффициентам излучения производится идентификация компонентов, определение состава и октанового числа бензинов на основе принципа искусственных нейронных сетей. Калибровка системы завершена, когда значения запомнятся в ПК на всех длинах волн *i*. Калибровка всей системы, завершена, когда значения спектральных характеристик запомнятся в ПК для всех компонентов *j*.

По завершении калибровки ПК дает команду на закрытие клапана с тестовым компонентом, и ИИС с проточной кюветой переходит в режим измерения спектральных коэффициентов излучения анализируемого компонента.

С помощью данной системы измерена спектральная характеристика топливной смеси с целью идентификации компонентов. При этом, расходимость результатов эксперимента и эталонного метода определения октанового числа бензинов по моторному и исследовательскому методу составила не более 2%. Результаты представлены в работе [7].

Заключение

Разработанный алгоритм функционирования автоматизированной системы с эффективными режимами автоматической калибровки и измерения спектральных характеристик компонентов и топлив, учитывает нелинейности фотометрической шкалы и позволяет обеспечить необходимую погрешность измерения.

Система, предназначенная для идентификации компонентов и определения состава топлив с использованием их спектральных характеристик и принципов искусственных нейронных сетей, преимуществами которой являются: мобильность, искро-взрыво-пожаробезопасность, автоматизация процесса идентификации компонентов и определения состава топлив по спектральным характеристикам, точный и достоверный качественный и количественный анализ топлив и рабочих жидкостей, расширение функциональных возможностей измерительной системы, повышение эффектности обработки информации, увеличение быстродействия измерительной системы анализа спектральных характеристик топлив.

Новизна системы заключается в том, что идентификация компонентов и определение состава топлив производится с использованием двухслойных искусственных нейронных сетей с обучением измерительной системы учителем; в качестве которого выступают топлива с известными значениями детонационной стойкости и заданными компонентными составами; при обучении минимизируются целевые функции, устанавливающие связь между составом топлива и спектрами излучения; соединение кюветы со спектрометром при помощи волоконно-оптического кабеля позволяет без дополнительных затрат обеспечить искро-взрыво-пожаробезопасное исполнение системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербакова, А.А. Структура информационно-измерительной системы идентификации компонентов, определения состава и детонационной стойкости топлива /А.А. Щербакова //Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т.2. – С. 212-214.

2. Bakeev Katherine A. Process Analytical Technology. Blackwell Publishing Ltd, 2005. 445 p.

3. Chabot P., Simpson M., Fabiano De Melas A spectrum of applications Process Analysis using FT-NIR Spectroscopy//Special Report Instrumentation & Analytics: ABB Review. 2006. P.54-60

4. Щербакова, А.А. Информационно-измерительная система идентификации компонентов, определения состава и детонационной стойкости топлива/А.А. Щербакова, С.Н. Базыкин //Сборник трудов 73-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2019». – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. -С.358-366.

5. Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. М.: Техносфера, 2007. 368с.

6. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач//. – М.: Наука, 1979. - 285 с.

7. Щербакова, А.А. Оценка эксплуатационных характеристик топлив по спектрам излучения в видимом диапазоне длин волн / А.А. Щербакова, Ю.Г. Бочкарева, В.Я.Савицкий// Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2019. – Т.2. – С. 129.

УДК 681.3

Хвостов А.В., Макаров О.Ю.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия

КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭВОЛЮЦИОННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

На основе анализа особенностей процесса многокритериальной оптимизации тепловых характеристик модуля питания с применением генетического алгоритма, предложен метод построения комплексный критерия пригодности по нескольким показателям качества проектирования печатных плат. Система показателей качества выбрана на основе анализа отечественной и зарубежной профильной литературы в области проектирования печатных плат. Показатели качества вступают в противоречия с друг другом. Для обоснованного выбора оптимального расположения элементов на плате разработана методика определения комплексного критерия, позволяющего сделать обоснованный выбор по многим показателям качества. Полученный комплексный критерий, построенный на основе анализа парных предпочтений различных показателей качества, позволяет на практике осуществить оптимальный выбор точек расположения элементов и их соединений без применения лексикографических методов построения сужающихся последовательностей и существенно упростить процессы разработки топологии печатной платы

Ключевые слова:

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ, ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ, КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ

Одной из важных задач при проектировании радиоэлектронных устройств (РЭУ) является разработка узлов на печатной плате (ПП). Важным этапом при этом является размещение элементов на поверхности ПП[1][2].Проектирование высокотехнологичных изделий часто рассматривается как многокритериальный синтез сложной системы, когда одновременное улучшение всех показателей качества системы невозможно, а сами критерии проектирования, как правило, носят взаимоисключающий характер[3]. Оптимальное размещение электронных компонентов на ПП требует нахождения компромисса между различными критериями качества конструкции, которые выражены функциями пригодности (ФП)[4]. Функции пригодности должны быть связаны монотонной зависимостью с близостью решений к гипотетическому идеальному решению. Однако, ввиду различной природы исследуемых критериев качества, отражающих различные характеристики конструкции, мощности рассеивания и рабочей температуры компонентов, ФП вступают в конфликт друг с другом. Помимо этого, основной тенденцией в развитии радиоэлектроники является увеличение производительности изделий путем увеличения плотности упаковки и энергопотребления на единицу полезной площади. В виду данных фактов, вопрос оптимизации тепловых процессов приобретает еще большую актуальность.

В условиях высокой конкуренции на рынке радиоэлектроники, разработчику не хватает времени на глубокий анализ тепловых процессов разрабатываемого устройства. К тому же для его проведения необходимо специальное программное обеспечение и навыки его использования. Для решения рассматриваемой задачи, предлагается использовать методику моделирования и оптимизации процессов теплообмена в радиоэлектронных устройствах с использованием эволюционных методов.

Решение компоновочной задачи основано на совместном применении теории графов и методов генетического поиска с последующим моделированием результата. С помощью генетического алгоритма осуществляется поиск такой позиции размещаемого элемента, при которой оптимизируется выбранный параметр качества, в данной работе - рабочая температура элемента, и обеспечиваются наиболее благоприятные условия для последующего электрического монтажа. Эволюционные методы показывают высокую результативность либо при применении специализированных разновидностях генетического поиска, либо при эффективном управлении поиском в процессе решения[5]. Для повышения эффективности многокритериальной оптимизации с помощью генетического алгоритма предлагается использовать комплексный критерий оптимальности, построенный на основе анализа парных предпочтений различных показателей качества, учитываемых при проектировании ПП.

Постановка задачи

Основная сложность в постановке задачи оптимизации размещения заключается в выборе функции пригодности. ФП отражают различные параметры, от которых зависит оптимальность результата проектирования. ФП находится в зависимости от переменных — варьируемых величин, изменяемых в процессе оптимизации для получения наилучшего решения. На основе анализа [6], была выбрана ФП, сочетающая оптимальные условия трассировки с учетом влияния температурных полей.

$$F(q^0)=\min_N\left(0{,}5\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}C_{i,j}l_{i,j}\right)+ +M*\min_N(F_t), \quad (1)$$

где $l_{i,j}$ - расстояние между точками привязки элементов i и j; $C_{i,j}$весовые коэффициенты матрицы связности ЭРЭ; M – коэффициент масштабирования; F_t- критерий оптимизации с учётом температурных полей.

В [7] описывает широкий класс весовых оценок попарно взвешенных связей формулой:

$$c_{ij}=\sum_{s=1}^{g} f_{ij}^{(s)}\, x(p_s), \quad (2)$$

где $f_{ij}^{(s)}$— вес s-й цепи, связывающей элементы i и j; $x(\rho_s)$ — коэффициент учета размера цепи, равный $2/\rho_s$; ρ_s — число эквипотенциальных выводов s-й цепи; g — число цепей, связывающих элементы i и j.

Величина определяет важность s-й цепи с точки зрения минимизации ее длины. С помощью системы топологического проектирования P-CAD значение весовых оценок можно получить из специального файла (расширение *.net) [8].

Анализ критериев качества

При проектировании ПП разработчику необходимо сформировать критерий оптимизации с учётом температурных полей, учитывающий взаимное влияние различных критериев качества. Комплексный показатель качества, применяемый в ФП, сочетает в себе несколько отдельных показателей, отражающих различные физические процессы [9], можно представить в следующем виде:

$$F_t \to \min \quad (3)$$

$$F_t = F(T) + F(\vartheta_{cp}) + F(U) + F(S) + F(\sigma_\vartheta) \to \min \quad (4)$$

где:

$F(T)$ - индивидуальная температура элемента,

$$F(T) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{T_i}{T_{imax}}, \quad (5)$$

где T_i-температура элемента i; T_{imax}- максимально допустимая температура элемента i; n- количество элементов.

$F(\vartheta_{cp})$ - средний перегрев,

$$F(\vartheta_{cp}) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\vartheta_i, \quad (6)$$

где ϑ_i – перегрев i-того элемента; n- количество элементов.

F (U) – условие электромагнитной совместимости высокочастотных элементов,

$$F(U) = \frac{1}{l}\left[\sum_{i=1}^{l}\left(\sum_{j=i+1}^{l}\left(\frac{L_{i-j}}{L_{max}}\right)\right)\right], \quad (7)$$

где $L_{i-j}=\sqrt{(x_i-x_j)^2-(y_i-y_j)^2}$; (x_i, x_j) и (y_i, y_j)- позиция элемента I и J; L_{max}-максимальное расстояние между элементами i и J.

F(S) –ограничение по площади печатной платы,

$$F(S) = \frac{S}{S_{max}}, \quad (8)$$

где $S=(X_{max}-X_{min})\cdot(Y_{max}-Y_{min})$; $S_{max} = (x_{max}\cdot y_{max})$, где X_{max}, X_{min} и Y_{max}, Y_{min}- максимальный и минимальный размер ПП.

$F(\sigma_\vartheta)$- среднеквадратичное отклонение от среднего перегрева

$$F(\sigma_\vartheta) = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\vartheta_{cp}-\vartheta_i), \quad (8)$$

где ϑ_{cp} – средний перегрев; ϑ_i – перегрев i-того элемента.

Вышеописанные критерии имеют различную физическую природу и накладывают ограничения друг на друга при совместном применении. Их относительные веса могут быть рассчитаны с использованием методов обработки экспертной информации. В частности, с использованием метода решения задач упорядочивания по набору признаков [10].

Практическое применение

Для применения вышеописанного метода необходимо:

- Определить критерии качества, участвующие в создании комплексного критерия;
- Создать граф отношений предпочтений критериев качества и определить соответствующую этому графу матрицу смежности;
- Получить собственный вектор матрицы, который является вектором относительных весов исследуемых критериев качества.
- Определить вектора всех весов критериев качества по каждому из исследуемых критериев;
- Составить матрицу весов критериев качества, столбцами которой являются полученные вектора весов критериев качества;

Вектор веса критерия качества определяется произведением матрицы весов критерия качества на собственный вектор матрицы.

Для определения веса исследуемых критериев качества составляется граф отношения предпочтений критериев качества и определяется его матрица смежности.

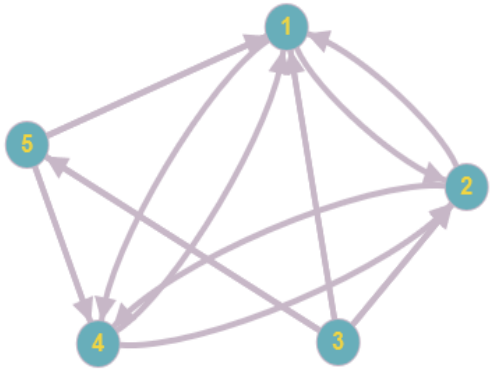


Рисунок 1 - Граф предпочтений критериев качества при проектировании топологии ПП (1- индивидуальная температура элемента; 2-средний перегрев; 3-условие электромагнитной совместимости высокочастотных элементов; 4-ограничение по площади печатной платы; 5-среднеквадратичное отклонение от среднего перегрева)

Соответствующая графу матрица смежности имеет вид:

$$A=\begin{matrix}1&1&0&1&0\\1&1&0&1&0\\1&1&1&1&1\\1&1&0&1&0\\1&1&0&1&0\end{matrix}$$

Для составления графа применены следующие правила: каждый признак равен самому себе по важности; отношение предпочтения «лучше», «хуже» отражены направлением стрелок графа; эквивалентные отношения отражены встречными стрелками.

Данный граф может быть преобразован в матрицу связанности вершин графа следующего вида:

$$\begin{pmatrix}0&1&0&1&0\\1&0&0&1&0\\1&1&0&0&1\\1&1&0&0&0\\1&0&0&1&0\end{pmatrix}$$

Собственные числа матрицы определяются характеристическим уравнением вида:

$$\begin{pmatrix}0-\lambda&1&0&1&0\\1&0-\lambda&0&1&0\\1&1&0-\lambda&0&1\\1&1&0&0-\lambda&0\\1&0&0&1&0-\lambda\end{pmatrix}=$$

$$=-\lambda^5+3\lambda^3+2\lambda^2=(-1)(\lambda)(\lambda)(\lambda+1)(\lambda-2) \quad (9)$$

Собственные числа матрицы предпочтений критериев качества:

$\lambda_1=0,\ \lambda_2=0,\ \lambda_3=-1,\ \lambda_4=-1,\ \lambda_5=2.$

Для наибольшего собственного числа матрицы предпочтений показателей качества $\lambda_5=2$ можно записать систему однородных линейных уравнений для определения собственного вектора матрицы:

$$A-\lambda*E=\begin{pmatrix}-2&1&0&1&0\\1&-2&0&1&0\\1&1&-2&0&1\\1&1&0&-2&0\\1&0&0&1&-2\end{pmatrix}=0 \quad (10)$$

Система однородных линейных уравнений, определяющая собственный вектор матрицы предпочтений критериев качества, решается методом Гаусса. После проведения эквивалентных преобразований она имеет следующий вид:

$$\begin{cases}x_1-x_5=0\\x_2-x_5=0\\x_3-\frac{2}{3}x_5=0\\x_4-x_5=0\end{cases} \quad (11)$$

Из уравнения 4 системы (9) найдем переменную $x_4=x_5$. Из уравнения 3 системы (9) найдем переменную $x_3=\frac{3}{2}x_5$. Из уравнения 2 системы (9) найдем переменную $x_2=x_5$. Из уравнения 1 системы (9) найдем переменную $x_1=x_5$.

Собственный вектор матрицы предпочтений показателей качества, таким образом, будет иметь следующий вид:

$$x=\begin{vmatrix}x_5\\x_5\\\frac{3}{2}x_5\\x_5\\x_5\end{vmatrix} \quad (10)$$

При $x_5=1$, собственный вектор матрицы предпочтений критериев качества, соответствующий максимальному собственному числу, будет иметь вид:

$$\phi=\begin{vmatrix}1\\1\\\frac{3}{2}\\1\\1\end{vmatrix} \quad (11)$$

Проведя процедуру нормализации показателей качества проектировании топологии ПП в соответствии с правилом [11-13] получим:

$f_j^*(x)=f_j(x)/\max_{x\in X}f_i(x)$ (12)

Таким образом можно получить нормализованный вектор матрицы предпочтений показателей качества проектировании топологии ПП следующего вида:

$$\phi^*=\begin{vmatrix}0{,}6\\0{,}6\\1\\0{,}6\\0{,}6\end{vmatrix} \quad (13)$$

Свертку показателей качества проектирования топологии ПП можно представить в виде:

$$F_t=\sum_{i-1\dots6}\phi_i^**x_i=x_3+\sum_{i-1\dots6,i\neq3}0{,}6*x_i, \quad (14)$$

где ϕ_i^* – значения коэффициентов значимости частных показателей качества проектировании топологии ПП в комплексном показателе качества.

Моделирование

Практическое применение комплексного критерия в оптимизации тепловых процессов продемонстрировано на примере решения задачи тепловой оптимизации модуля питания. Моделирование производилось только для самых теплонагруженных элементов модуля. Первоначальный вариант размещения был получен (по умолчанию) из системы схематического проектирования P-CAD 2006 и смоделирован в Pro/ENGINEER Mechanica. Оптимизация по тепловому критерию выполнялась с помощью модуля Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox системы MATLAB.

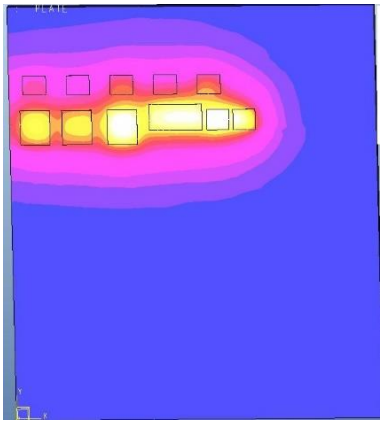


Рисунок 2 - Исходный вариант размещения

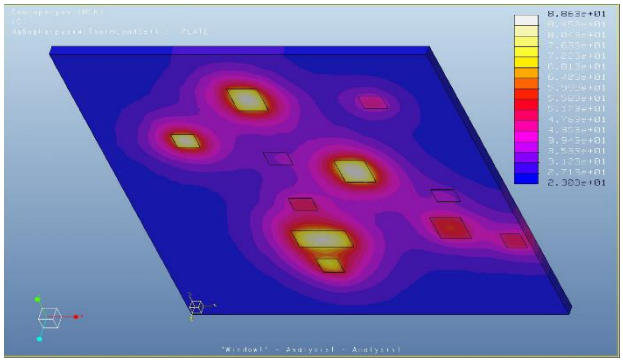


Рисунок 3 - Вариант размещения с использованием комплексного критерия

Сравнение температуры радиоэлементов представлено в таблице 1.

Таблица 1

№	Обозн. на плате	t корп., °C		Коэфф. тепловой нагрузки	
		Разм.1	Разм.2	Разм.1	Разм.2
1	VD1	65.64	51.84	0.437	0.345
2	VD2	53.325	36.225	0.355	0.241
3	VD3	66.22	46.72	0.441	0.311
4	VD4	55.42	35.42	0.369	0.236
5	VD5	62.84	60.34	0.418	0.4
6	DD2	102.18	88.68	0.817	0.7
7	DD5	78.12	56.92	0.624	0.45
8	DD6	103.07	87.17	0.824	0.69
9	DD9	94.4	73.6	0.755	0.58
10	DD10	99.825	88.625	0.798	0.7
11	DD25	96	85.8	0.768	0.68
Средняя		79.73	64.66	0.6	0.48
Максимальная		103.07	88.68	0.824	0.69

Результатом применения комплексного критерия качества в процессе оптимизации стало снижение средневзвешенного коэффициента тепловой нагрузки с 0.6 до 0.48, что позволяет сделать вывод о эффективности метода. Применение комплексного критерия качество позволяет эффективно решить проблему выбора из нескольких частных показателей качества, накладывающих ограничения друг на друга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высш. шк., 1984. 247 с.
2. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов . М.: Радио и связь, 1990. 312 с.
3. А.К. Гришко, А.В. Лысенко, С.А.Моисеев. Прогнозирование и оптимизация управления процессов проектирования сложных технических систем в масштабе реального времени// Журнал Надежность и качество сложных систем№21, стр. 40-45/ Пенза: изд-во ПГУ, 2018г.
4. М.В. Бураков. Генетический алгоритм: теория и практика: учеб. пособие / – спб.: ГУап, 2008. – 64 с.: ил.
5. А.И. Имамутдинов. Обеспечение вычислительной эффективности генетического поиска// Журнал Надежность и качество сложных систем№27, стр. 100-104 / Пенза: изд-во ПГУ, 2018г.
6. Хвостов А.В., Макаров О.Ю. Моделирование и оптимизация процессов теплообмена в радиоэлектронных устройствах с использованием эволюционных методов решения np-трудных задач // Проблемы обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем. Межвузовский сборник научных трудов. 2018г. С. 152-158.
7. А.В. Муратов, О.Ю. Макаров, В.С. Скоробогатов, М.В. Скоробогатов. Алгоритм парных перестановок для решения задач оптимизации компоновки и размещения элементов РЭС// Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2001. 124 с.
8. А.В. Лопаткин. P-CAD 2004/Петербург: БХВ, 2006. 555с.
9. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов . М.: Радио и связь, 1990. 312 с.
10. А.И. Орлов. Теория принятия решений. Учебное пособие. М.:Экзамен, 2005. 656 с.
11. Волхович В.Л. Методы принятия решений по множеству критериев оптимальности // Сложные системы управления. — Киев: Наукова думка. 1968, Вып. 1.
12. Vanderpooten D. The construction of prescriptions in ontranking methods // Readings in Multiple Criteria Decision Aid / Ed. by C. Bana e Costa. — Heidelberg: Springer Verlag, Heidelberg, 1990.— Pp. 184–216.
13. Figueira J., Mousseau V., Roy B. ELECTRE methods // Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys / Ed.

УДК 681.3.066

Бушмелева К.И., Майоров В.В.
БУ ВО ХМАО – Югры «Сургутский государственный университет», Сургут, Россия

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ ПЕРСОНАЛА НЕФТЕГАЗОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье, приводится как в условиях рыночной экономики осуществляется конкурентная борьба, борьба за потребителей требующая от предприятий сокращения затрат на производство выпускаемой продукции, с учетом повышения ее качества и максимального удовлетворения пожеланий заказчиков. Какими информационными технологиями, возможно, сократить сроки и повысить качество инженерной подготовки специалиста на производстве, посредством совершенствования разрабатываемых проектов, снижения аварийности и травматизма на производстве. А также подробно рассматриваются методы и средства, используемые для дистанционного обучения специалистов нефтегазового предприятия

Ключевые слова:
ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НЕФТЕГАЗОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ, КОРПОРАТИВНЫЕ СИСТЕМЫ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ

Современные промышленные предприятия, нефтегазовые в том числе, являются сложными системами, в которых персонал, является непосредственным участником производственного процесса и в значительной степени влияет на эффективность, надежность и безопасность производства, даже при высоком уровне автоматизации. Профессиональные знания персонала являются важнейшим стратегическим ресурсом производства. Поэтому подготовка квалифицированных кадров совершенствование их знаний отнесены к числу высших приоритетов государства.

Постоянное увеличение доли высокотехнологичного оборудования в различных секторах нефтегазового предприятия, вместе с увеличением сложности оборудования и производственных процессов в целом, ставит задачи повышения качества подготовки высококвалифицированных специалистов. Качество подготовки специалистов определяет экономическую эффективность производства (напрямую зависит от эффективности действий персонала), а также затрагивает вопросы промышленной безопасности и охраны окружающей среды. Одной из отличительных особенностей отечественного нефтегазового комплекса является расположение месторождений углеводородного сырья в малоосвоенных и труднодоступных местах, что предъявляет повышенные требования к надежности оборудования и его своевременному обслуживанию.

Большое количество аварий вызвано "человеческим факторам", т.е. ненадлежащим выполнением

процедур, а также ошибочной уверенностью персонала в превосходстве собственного опыта перед "регламентом". Например, статистика [1] по 450 авариям в отрасли нефтепереработки и нефтехимии за 1986 по 1991 г.г. показала, что 22% случаев приходится на ошибки операторов, а материальные потери оцениваются более чем в 15 миллиардов долларов. Это вторая по уровню убытков причина аварий после механических повреждений. Также известно, что частота появлений "аварий" и нарушений регламента напрямую зависит от качества подготовки/переподготовки высококвалифицированного персонала предприятий.

Рассмотрим роль дистанционного обучения персонала при работе на нефтегазовом предприятии. Поиск и внедрение новых методов и средств обучения привел к тому, что, начиная с 1980 года, появились новые обучающие инструменты, которые используют вычислительные мощности компьютеров. Они получили названия: «компьютерные средства обучения», «виртуальные лабораторные работы», «имитаторы», автоматизированный лабораторный практикум удаленного доступа, информационная обучающая система, автоматизированная обучающая система, «тренажерные системы», системы формирования виртуальной реальности и т.д. Указанные «компьютерные средства обучения» действительно решили значительную часть заявленных проблем «физического обучения» и, кроме того, предоставили ряд дополнительных возможностей. По мере роста вычислительных мощностей интерес к таким средствам обучения только увеличивается [2, 3].

Сегодня многие российские корпорации разработали основополагающие нормативные документы (стратегии, концепции, стандарты и пр.) в сфере непрерывного развития персонала, создали внутрикорпоративные образовательные структуры (корпоративные университеты, академии, институты, учебно-тренировочные центры, технические школы и пр.), системы электронного обучения и системы управления знаниями. Провозглашается трансформация корпораций в самообучающиеся организации. Примеры системного подхода к созданию корпоративных систем обучения персонала, встроенных в структуру корпорации, демонстрируют: АО «СО ЕЭС», ОАО "Сургутнефтегаз", ПАО «Газпром» и другие. Такие системы охватывают десятки тысяч обучаемых, подготовка которых ведется по индивидуализированным программам обучения. Наличие корпоративных локально - вычислительных сетей, предоставили возможность создавать системы дистанционного обучения (СДО), которые решают задачи создания обучающего/тестирующего контента, оперативной доставки контента до конечного пользователя, учета освоенного материала, вести периодичность переподготовки персонала, отслеживать результаты тестирования и т.д. Распределенные базы знаний позволяют использовать мультимедийные средства для создания обучающего/тестирующего контента. Наблюдается рост образовательного контента (программ обучения, обучающих курсов, тестовых заданий, электронных учебников, компьютерных тренажеров и пр.), требующий при этом систематизации и структуризации, построения и исследования, а также разработки моделей, методов и алгоритмов в рамках лучшего освоения знаний, которые в свою очередь позволили бы не только повысить эффективность хранения больших объемов данных и доступа к ним, но и оказали бы помощь в работе методистов и обучающихся. Затраты времени на обучение персонала непосредственно влияют на эффективность производства и должны по возможности минимизироваться.

Рассмотрим методы, используемые при построении систем дистанционного обучения персонала. Теоретические вопросы структуризации образовательного контента, построения и моделирования индивидуальных образовательных траекторий рассматривались в различных диссертационных исследованиях. Ранее уже была предложена формальная теория компьютерного обучения, включающая структурную модель знаний и модель оценки знаний. Использовались графовые модели для представления графа знаний и обучающих кластеров (модулей). Предлагалось использовать ярусно-параллельную форму представления графа знаний, а также такие понятия, как логический уровень и фронт обучения, непосредственные связи, отложенные связи, коэффициент забывания и др.

Рассматривались различные подходы к моделированию процесса обучения, предлагалось для формирования качественных учебно-методических материалов использовать формальные методы структуризации учебных планов и рабочих программ подготовки, переподготовки и аттестации специалистов промышленных предприятий. Так метод репертуарных решеток дает основу для описания поведения, отличающих более эффективных от менее эффективных работников. Важной чертой метода является то, что респондентам не предлагается заранее составленных характеристик, а им позволяется самим идентифицировать качества, определяющие успех в работе, опираясь на собственный опыт [4]. С помощью метода критических инцидентов могут быть определены индикаторы успешного и неуспешного поведения сотрудника, на основании которых выявляются компетенции. В методе попарного сравнения экспертам предлагается проранжировать по степени значимости, полученные компетенции, а также определить требуемый уровень выраженности должности. Для ранжирования эксперты заполняют соответствующую форму, где они должны сравнить по две компетенции, и ставить отметку рядом с той компетенцией, которая, по их мнению, более важна. Существует также множество других методов и все они направлены на оценку уровня квалификации или соответствия должностным обязанностям, а также на формирование учебных планов.

Значительное место в данных исследованиях, уделялось вопросам реализации систем электронного обучения с использованием возможностей современных информационно-коммуникационных технологий.

Рассмотрим методы и средства визуализации объектов нефтепромысла для организации образовательного контента. До недавнего времени термин «визуализация знаний» (ВЗ) не употреблялся, в отличие, например, от визуализации информации (Information visualization, в дальнейшем – ВИ). Что же может пониматься под этим термином? Любое графическое изображение подпадает под визуализацию знаний: и чертеж, и диаграмма, и график в отчете, и сам отчет, и графическое программное обеспечение, используемое в науке (например, моделирование в математике или химии). Мы же хотим сказать не о визуализации как таковой, а о визуализации знаний.

Визуализация информации – это использование компьютерных приложений для графического представления абстрактных данных. В основном, речь идет о различных диаграммах, графиках, 3D – моделировании и т.д.

Визуализация знаний – это набор графических элементов и связей между ними, используемый для передачи знаний от эксперта к человеку или группе людей, раскрывающий причины и цели этих связей в контексте передаваемого знания. Основная цель визуализации знаний – улучшить передачу знаний, стимулировать когнитивные процессы.

Если ВИ в первую очередь облегчает доступ к различным данным, то ВЗ применяется для обмена знаниями, например, в электронном обучении (eLearning). Некоторые авторы рассматривают ВЗ лишь как набор оптимальных графических средств (чертеж, таблица и т.д.) в зависимости от передаваемого знания, то мы при определении ВЗ должны исходить из других предпосылок.

Если вы предлагаете решение какой-то комплексной задачи в рамках исследовательского или прикладного проекта, вы объясняете не только ключевые элементы решаемой проблемы, но и взаимосвязи между ними. При этом тривиальное отображение связей между элементами зачастую недостаточно для того, чтобы получатель знаний пол-

ностью понял и принял логику предлагаемого решения. Необходимо не только указать причину взаимосвязи, но и ее цель – т.е. для решения какой задачи наличие избранной связи является важным. Объяснение причины и целей взаимосвязи имеет прямое отношение именно к конкретной решаемой задаче, т.е. зависит от контекста. При этом следует отметить многозначность этих связей: одни и те же элементы могут быть связаны в контексте одной проблемы и совершенно не зависимы друг от друга при рассмотрении другого вопроса, так же как и цели этих связей меняются в зависимости от рассматриваемой задачи.

Исходя из определения, носитель знания может быть как человек, так и артефакт, в то время как получатель знания человек или группа. Визуализация должна представлять конкретную проблему или задачу (например: анализ бизнес-процессов, структура организации) и отвечать на вопрос: для чего, для решения какой проблемы необходима предлагаемая передача знаний?

Связи и взаимосвязи (однонаправленные или двунаправленные) можно рассматривать (и соответственно объяснять) не только между различными элементами знаний, но и между группами таких элементов (рис. 1).

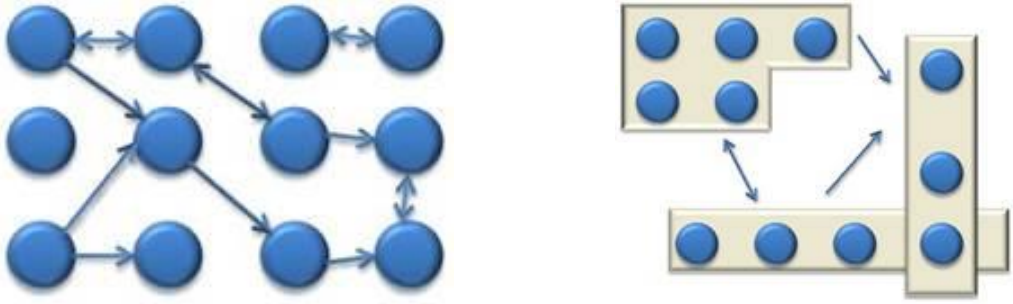


Рисунок 1 - Связи между элементами и группами элементов

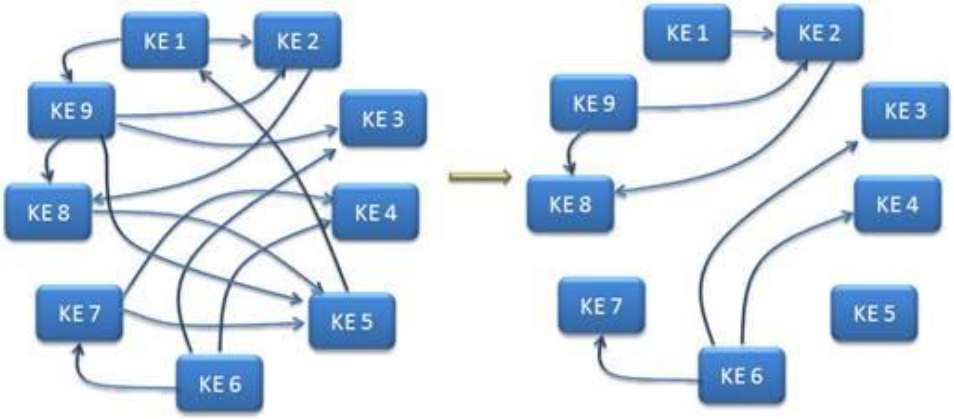
Как уже было отмечено, связи между элементами рассматриваются с разных перспектив: «почему» - причина конкретной зависимости; «цель» - для чего важны эти связи? Какие проблемы можно решить, исходя из представленного знания.

Формально ВЗ можно описать следующим образом (формула 1):

$$KnowViz = F(E, D, P), \quad (1)$$

где E – множество элементов (различные графические элементы, такие как таблицы, диаграммы, деревья и т.д.); D – множество связей между различными элементами; P – цели этих связей.

Связи могут быть одно или двунаправленными, представлять различные уровни зависимости или влияния между элементами. Например, в трёхступенчатой модели можно различать «сильную», «среднюю» и «слабую» связь. Последний параметр нужен для того, чтобы иметь возможность сконцентрироваться лишь на определённых (наиболее сильных) связях между элементами (рис. 2). Эта возможность важна как для передающего, так и для принимающего знания.



а) полный набор б) выборка наиболее сильных связей

Рисунок 2 - Отбор связей между элементами

Какие преимущества можно отметить у предлагаемой концепции визуализации в принципе? Во-первых, она облегчает восприятие знаний и позволяет рассматривать проблемы с разных сторон, предлагать новые перспективы. Во-вторых, визуализация облегчает процесс обучения (например, большая запоминаемость вследствие интеграции полученных знаний в структуру уже имеющихся). Кроме того, объяснение причин и целей связей между элементами стимулирует креативные процессы – логические выводы и ассоциации. Таким образом, можно сказать, что визуализация знаний – повышает эффективность передачи информации.

Обучение не должно носить модульный характер, т.е. состоять из сравнительно независимых блоков. Обучаемому в СДО предоставляется возможность начинать обучение с любого исходного пункта и самому определять последовательность прохождения материала. Это означает, что предлагаемые темы должны быть связаны ссылками (гиперссылками) друг с другом. Таким образом, можно осуществить на практике принцип открывающего обучения. Однако при этом возникает следующая проблема. Классическое содержание учебного курса или книги (пусть даже и электронной) представляет собой двумерную структуру (страницы или слайды) с главами, секциями, параграфами и т.д., которые необходимо проходить в определённой последовательности. На экране же возможно видеть лишь часть структуры курса, а не все дерево, состоящее обычно из нескольких десятков параграфов [5-7].

Чтобы решить эту проблему, на помощь приходит модель гиперболических деревьев, позволяющая отображать достаточно большие структуры.

Такая технология – довольно гибкая: узлы гиперболического дерева могут представлять различные темы, и может быть просто набором тем и ссылок между ними. С помощью «drag-and-drop» обучаемый, имеет возможность сам определять интересующие его темы, не теряя из поля зрения весь курс, и тем самым определять свой индивидуальный процесс обучения.

Рассмотрим 2 сценария: «заякоренный» процесс обучения и модель «мастер-подмастерье».

Первая модель базируется на принципе, что обучение должно быть основано на решении конкретных проблем и ситуаций, заимствованных из «реального мира», т.е. требует так называемую «привязку» к реальной ситуации. Отсюда идет и название подхода. Часто при его реализации используются аудио, видеоматериалы, трехмерная графика, текстовая информация. Реальный контекст требуется для того, чтобы обучающиеся самостоятельно могли обнаружить недостающие им для решения проблемы знания. Как можно реализовать этот подход в электронном обучении? Ниже приведён пример (сценарий) соответственной реализации (рис. 3).

Обучаемому необходимо «виртуально» подготовить котел ПКГМ-4 к пуску. Для этого ему необходимо в интерактивном режиме выполнить последовательность действий, которые соответствуют действиям на реальном объекте.

Подойти к пульту.

Подойти к кнопкам.

Переключатель «Газ-Жидкое топливо», установить в положение «Газ».

Переключатели II ст., III ст. и «Вентилятор ручное управление» установить в положение выкл.

Вернуться назад к «Пульту управления» и включить главный выключатель. Раздастся сирена и загорится лампа «Сеть 220В». Подойти к кнопкам и нажать кнопку «Снятие звукового сигнала», сирена выключится. И так далее, до полного выводы котла на режим запуска.

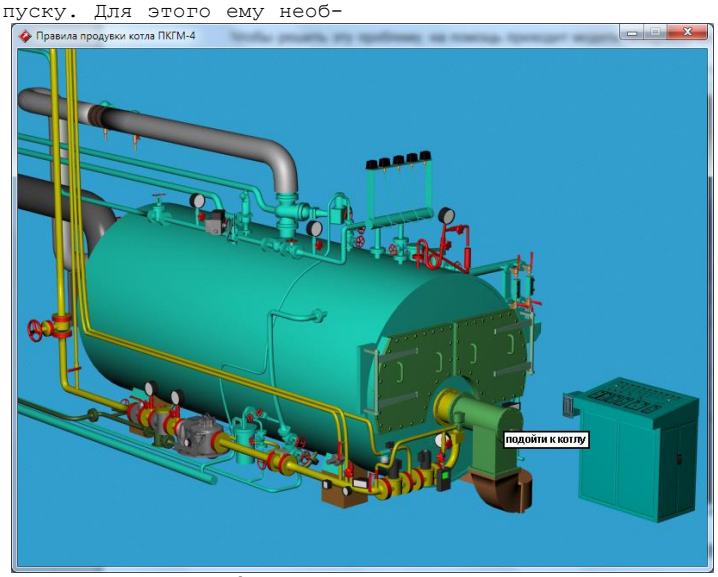


Рисунок 3 - Подготовка котла к пуску

При любом неправильном действии появляется информационное окно с подсказками, например «Не верно! Выполните действие "подойти к пульту"».

Визуальное представление знаний в конкретном примере может быть реализовано как автоматически – ученик воспринимает предварительно подготовленную схему и видит отображение основных понятий в графические элементы, так и вручную – путем выбора необходимых элементов знаний самим обучающимся.

В модели «Мастер-подмастерье» речь идет о методе обучения, аналогичном обучению какому-нибудь ремеслу (например, слесарное дело, шитье) под руководством мастера или выполнению определенных действий для достижения результата. Обучающийся перенимает навыки мастера, наблюдая за ним в процессе работы. Затем ученик пытается имитировать поведение мастера, который играет роль наставника и тренера.

При реализации этой модели в электронном обучении, процесс разбивается на 4 этапа.

1. Эксперт формулирует проблему. Проблема вместе с основными идеями (элементами) отображаются с помощью программы (автоматически или с помощью эксперта).

2. Эксперт предлагает свое решение. Это означает, что вместе с элементами отображаются связи между ними, а также цели и причины этих зависимостей.

3. Первые два шага могут быть повторены несколько раз разными экспертами или одним экспертом, исходя из различных перспектив. Таким образом, ученики получат решения задач в разных контекстах. Это помогает найти общие элементы для всех решений и применить полученные знания (при наблюдении за решением) в новой задаче самостоятельно.

4. Далее эксперт дает новую задачу, которая уже должна быть решена учеником самостоятельно. Используя программу, ученик отображает элементы и с его точки зрения правильные связи между ними, объясняет эти связи (как комментарий). В заключение ученик может сравнить свое решение с решением предлагаемым экспертом (а не навязанным) экспертом [8, 9]. Приведем пример данного обучения.

Первый шаг: «Мастер» (в данном случае программа) задает проблему в виде реальной ситуации с помощью экранных копий, аудио, анимированных действий, графических элементов, текстов. Элементы знаний в предлагаемом сценарии будут отображаться на всплывающих копиях реальных экранов. В нашем примере, элементы знаний – это последовательность выполнения действий: куда и какие данные ввести, какую выполнить операцию на экране для достижения цели. Первый шаг, описанный здесь, представлен на рисунке 4.

Второй шаг: Эксперт предлагает решение. Программное приложение показывает все связи между элементами, объясняет их, и подчеркивает при этом в тексте ключевые слова, на которых основываются эти элементы знаний. Ученик может активизировать и другие всплывающие окна с объяснениями, но его неверные действия не приведут к конечной цели, и будут возвращать его к правильной последовательности. Если ученик не уверен в том, что он готов решить последующую задачу самостоятельно, он может повторить первые два этапа.

Третий шаг: Теперь ученик в состоянии решить задачу самостоятельно. Он сам подбирает элементы и связи между ними.

Четвёртый шаг: Ученик сравнивает свое решение с решением эксперта (программы).

Таким образом, новый подход визуализации знаний, описанный в настоящей статье, представляет одну из основополагающих платформ для эффективной передачи знаний. В отличие от других решений, данный подход ориентируется на цели взаимосвязей между элементами знаний. Следуя предлагаемому методу, при визуализации комплексных структур необходимо не только графически представлять элементы (знаний) и связи между ними, но и предлагать многоуровневое объяснение этих связей в зависимости от преследуемых целей.

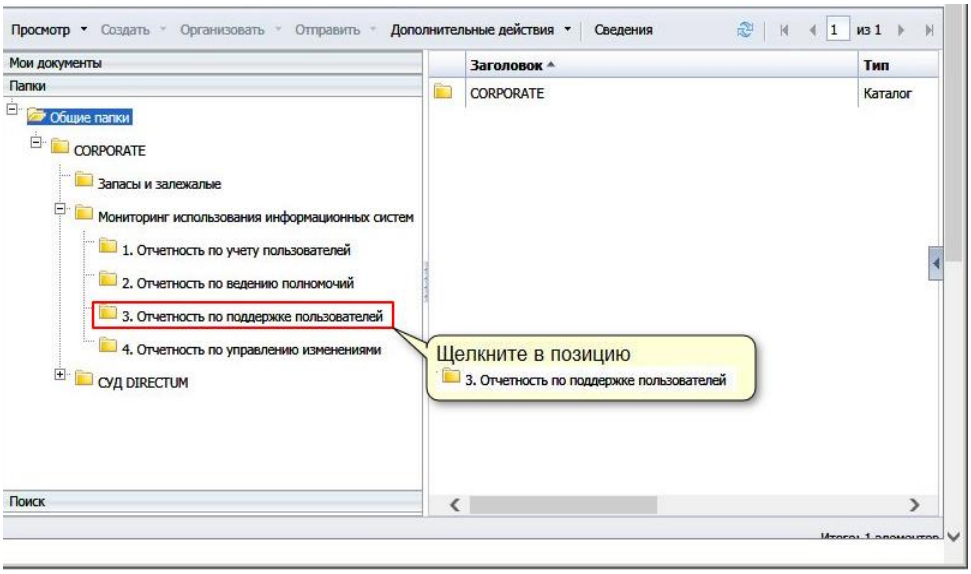


Рисунок 4 - Первый шаг в модели примере «Мастер-подмастерье»

Ориентированная на цели интеграция контекстной визуализации связей между элементами знаний существенно улучшает процесс передачи знаний от носителей (учителей) к получателям (ученикам).

Вместе с тем, научные исследования и разработки в области системного анализа и моделирования образовательного контента корпоративных образовательных структур проводятся в настоящее время недостаточно интенсивно, а по вопросам визуализации информации, при разработке образовательного контента и моделировании процессов его изучения, отсутствуют общепризнанные модели, методы и алгоритмы, что делает актуальным продолжение исследований в этих направлениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаммер М.Д., Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л. Имитаторы на базе программно-аппаратной платформы в техническом образовании. Новосибирск: Наука, 2011. – 222 с.

2. Бурдыко Т.Г., Бушмелева К.И. Анализ использования информационно-коммуникационных технологий в образовании // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». г. Пенза. 2016. №1. С. 220—224.

3. Бурдыко Т.Г., Бушмелева К.И. Методы оценки качества программных продуктов в Вузе // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». г. Пенза. 2017. №1. С. 21—23.

4. Жажа Е.Ю. Многокритериальная задача оптимизации последовательности предъявления учебного материала [Электронный ресурс]. 2020. Дата обновления 2020 г. URL: http://eodot.esrae.ru/pdf/2013/1/5.pdf (дата обращения: 20.04.2020).

5. Башкаков К.А., Казак А.Б. Генераторы изображения для авиатренажеров // Зарубежная радиоэлектроника. - 1984, №8. - С. 60 – 68.

6. Ковалев А.М., Талныкие Э.А. Машинный синтез визуальной обстановки // Автометрия. - 1984. - №4. - С.78-83.

7. Artwick B.A. Applied concepts in microcomputer Graphics // Prentice Hall, Inc. Eglewood Cliffs. - New Jersey, 1984. - 374 p.

8. Баринов К.А., Николаев А.Б., Остроух А.В. Аппаратно-программные средства создания виртуальных // Электронное обучение и дистанционные образовательные технологии. – 2013. – № 1. [Электронный ресурс]. URL: http://eodot.esrae.ru/1-1 (дата обращения: 20.04.2020).

9. Краснянский М.Н. и др. Технология интерактивного 3D-моделирования для разработки виртуальных тренажерных комплексов // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2011. – № 10. – С. 4 – 12.

УДК 621.31:621.398

Занин[1] А.С., Бушмелева[1] К.И., Увайсов[2] С.У.

[1]БУ ВО ХМАО – Югры «Сургутский государственный университет», Сургут, Россия

[2]ФГБОУ ВР «МИРЭА - Российский технологический университет», Москва, Россия

МЕТОД И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОИСКА И УСТРАНЕНИЯ ОШИБОК ПАРАМЕТРОВ ТЕЛЕМЕТРИИ ДИСПЕТЧЕРСКОГО ЦЕНТРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В работе приведено исследование в области достоверизации данных телеметрии диспетчерских центров электроэнергетики. Описана организационная составляющая процесса достоверизации телеметрической информации персоналом диспетчерских центров «Системного оператора единой энергетической системы» Российской федерации. Приведены этапы создания программного обеспечения для автоматизации процесса достоверизации данных телеметрии. Разработан алгоритм программного обеспечения для автоматизации процесса верификации телеметрии. Приведена целевая таблица результатов работы проектируемого программного обеспечения. Изложен подход к формирования эмпирического критерия достоверности параметров на основе рейтингов, формируемых с использованием нейросетевого подхода. Получено предварительное одобрение общей идеи программного продукта от персонала Регионального диспетчерского управления энергосистемами Ханты-Мансийского автономного округа

Ключевые слова:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ПАРАМЕТРЫ ТЕЛЕМЕТРИИ, ДОСТОВЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ, ПРОЦЕСС АВТОМАТИЗАЦИИ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ДИСПЕТЧЕРСКИЙ ЦЕНТР

Основным методом работы диспетчерских центров (ДЦ) электроэнергетики всех уровней является постоянный контроль ряда параметров магистральных линий электропередач в узлах преобразования и распределения. Для контроля данных параметров используется внушительное количество технических средств. В наиболее общем виде эти средства представляют собой совокупность устройств сбора (на объекте мониторинга), предварительного преобразования, передачи (в передающем тракте), приема (в диспетчерском центре соответствующего уровня), обратного или дальнейшего преобразования (в центральной приемо-передающей станции), обработки с целью получения косвенных измерений и контроля зависимых параметров (в оперативном

информационном комплексе), и отображения (на рабочем месте диспетчера с применением средств коллективного и индивидуального отображения).

В стратегии развития акционерного общества «Системный оператор Единой энергетической системы» (АО «СО ЕЭС») среди прочих задач отдельно выделяется задача по постоянному повышению надежности. Повышение надежности мониторинга и управления, позволяет в целом повысить надежность энергоснабжения и застраховать потребителей и производителей от негативных последствий. Для достижения данной цели в АО «СО ЕЭС» постоянно реализовываются проекты по улучшению различных средств диспетчеризации. Все средства диспетчерского управления используют данные телеметрии (ТМ), получаемые с объектов управления [1]. Основным комплексом для получения хранения и обработки получаемой информации в АО «СО ЕЭС» является оперативно-информационный комплекс СК-2007. К сожалению, качество принимаемых данных ввиду сложности, географической разносности и порой старости оборудования сбора и передачи данных, оставляет желать лучшего. Задача по минимизации количества ошибок телеметрии является не сегодняшний день одной из самых актуальных, со стороны систем сбора и передачи информации, для повышения надежности управления электроэнергетической системы [2].

Различные подходы к поиску и устранению указанных ошибок телеметрии начали предлагаться еще более 30 лет назад, однако все предлагаемые и используемые сегодня методы имеют те или иные недостатки. К тому же после выявления недостоверных параметров необходимо произвести цикл операций, связанных с восстановлением требуемого качества получаемых данных телеметрии, а данная операция в имеющихся системах достоверизации абсолютно не автоматизирована.

Целью настоящей работы является исследование возможности автоматизации процесса поиска и устранения ошибок телеметрии, влияющей на принятие оперативных решений по изменению функционального состояния объектов управления, а также параметров используемых для решения режимных задач. При получении положительного результата исследования, будет уменьшено время обработки ошибочных параметров телеметрии, что в свою очередь должно повлиять на качество телеметрии, и опосредовано на качество принимаемых в диспетчерском центре решении по изменению технологического состояния оборудования, находящегося в диспетчерском ведении и управлении.

Для достижения поставленных целей в работе были поставлены следующие задачи:

разработка метода поиска и устранения ошибок параметров телеметрии объединяющего достоинства и исключающего недостатки имеющихся

разработка алгоритма функционирования программного обеспечения для автоматизации процесса поиска и устранения ошибок;

разработка программного обеспечения для автоматизации процесса поиска и устранения ошибок;

апробация и внедрение результатов работы в диспетчерском центре электроэнергетики.

Рассмотрим предпосылки автоматизации процесса выявления недостоверных параметров телеметрии. В настоящее время задачи по восстановлению достоверности параметров телеметрии диспетчерских центров АО «СО ЕЭС» лежат на плечах оперативного персонала отделов и служб оперативной эксплуатации автоматизированных систем управления (далее - ООЭ АСУ) [3]. Обобщенная схема взаимодействия персонала структурных подразделений диспетчерского центра по услуге выявления недостоверностей приведена на рисунке 1.

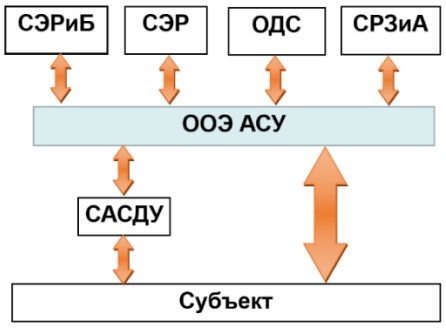


Рисунок 1 - Обобщённая схема взаимодействия при обнаружении недостоверных значений телеметрии

Персонал ООЭ АСУ для анализа недостоверностей, выявляемых оперативно-информационным комплексом (ОИК) СК-2007 пользуется подсистемой «Система мониторинга качества телеинформации» (СМКТ). Внешний вид главной формы СМКТ приведен на рисунке 2.

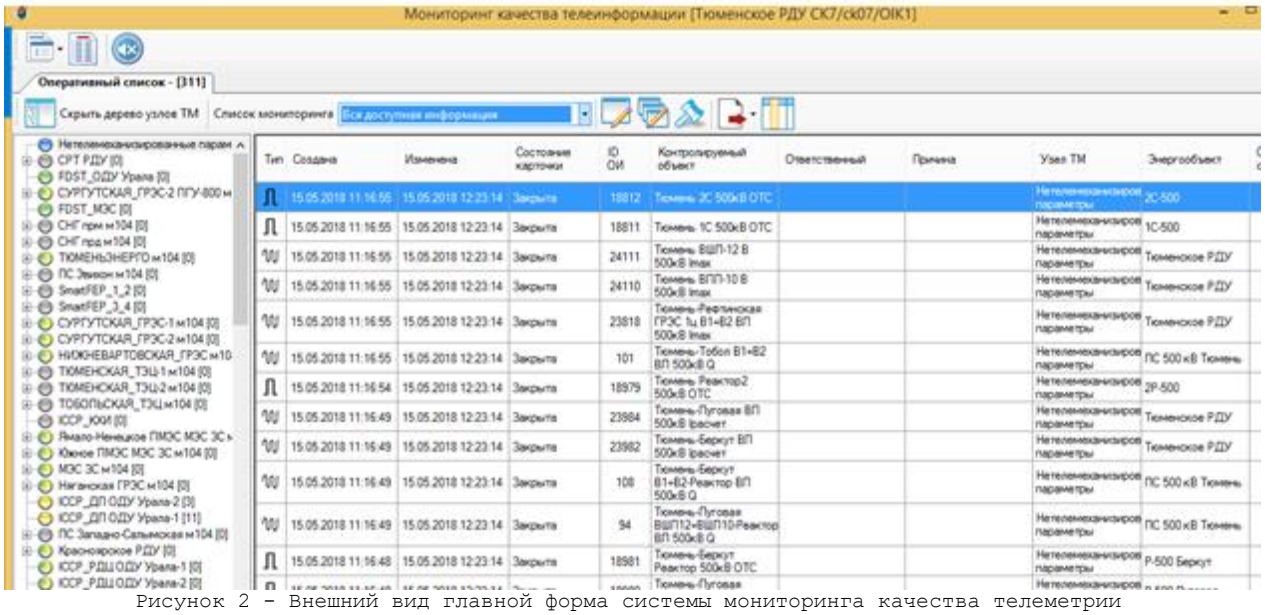


Рисунок 2 - Внешний вид главной форма системы мониторинга качества телеметрии

В указанной подсистеме осуществляется мониторинг всех регистрируемых событий, имеющих наиболее важное значение для осуществляемого диспетчерским центром технологического процесса. К таким параметрам в соответствии относятся:

принимаемые напрямую из ССПИ энергообъектов, из ЦУС или из ДЦ зарубежных энергосистем;

«сырая» ТМ, принимаемая из смежных ДЦ;

параметры, входящие в Перечень ПДТИ ДЦ.

На рисунке 3 приведена диаграмма количества параметров ТМ контролируемых в СМКТ Регионального диспетчерского управления энергосистемами Тюменской области, ХМАО и ЯНАО.

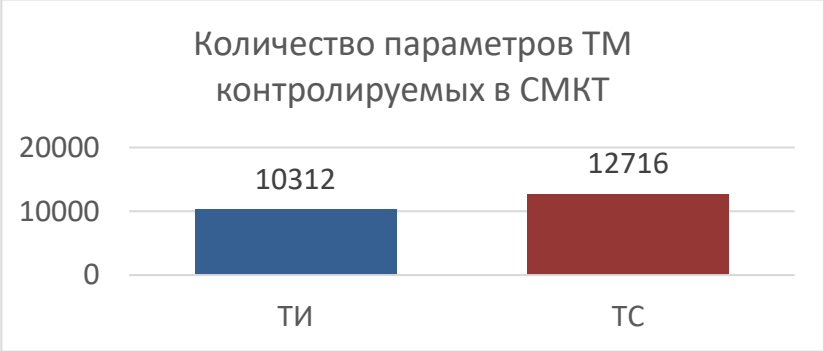


Рисунок 3 – Количество параметров ТМ контролируемых в СМКТ

На сегодняшний день среднее количество карточек СМКТ регистрируемых за один день составляет 114.

Необходимо заметить, что не все карточки требуют одинаковой отработки дежурным персоналом ООЭ АСУ, так, например, при плановом выводе в ремонт или работах по диспетчерской заявке (документ, в котором оформляется ответственное намерение эксплуатирующей оборудование организации изменить эксплуатационное состояние или технологический режим работы объекта диспетчеризации. Заявка оформляется и передается на рассмотрение и принятие решения в соответствующий диспетчерский центр), с потерей собственных нужд, возможны ситуации с отключением объектовых серверов телеметрии или измерительного оборудования субъектов. В такой ситуации от дежурного персонала требуется лишь удостовериться в том, что данной оборудование было указано в перечне выводимого в ремонт или из работы на время диспетчерской заявки.

Кроме указанный форм контроля и мониторинга недостоверностей ТМ у персонала ООЭ АСУ существует обязанность по мониторингу «небалансов» активных и реактивных мощностей всех ПС класса напряжения 110-500 кВ, для осуществления данной формы мониторинга в ОИК СК-2007 Тюменского РДУ создана таблица «Контроль балансов в узлах» (рис. 4) [4].

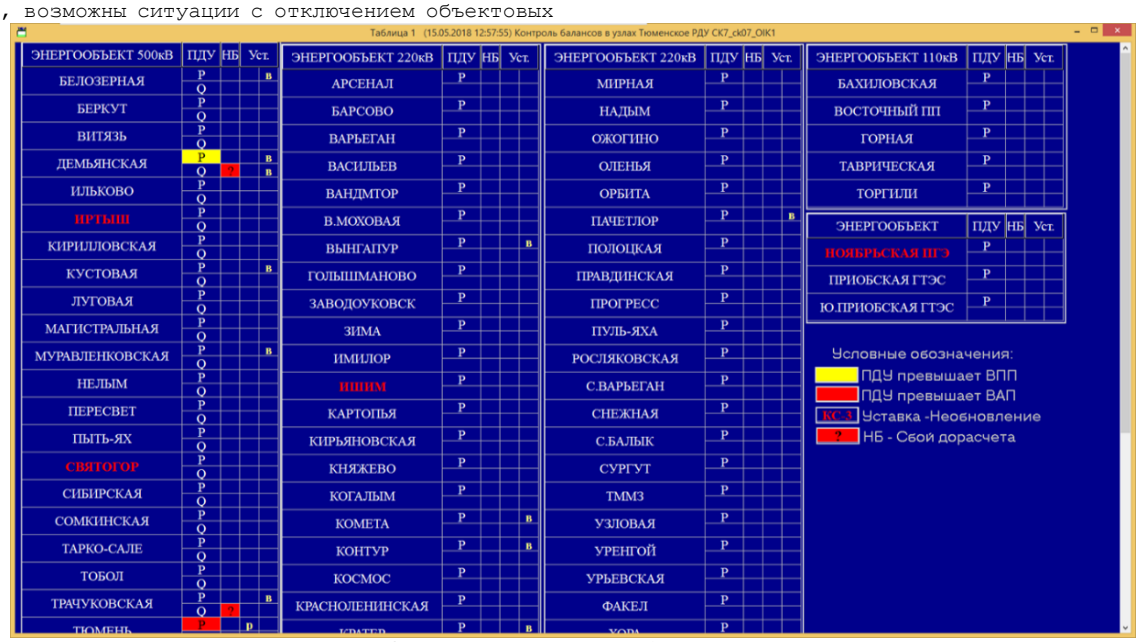


Рисунок 4 – Форма «Контроль балансов в узлах»

На ней дежурный специалист ООЭ АСУ контролирует индикацию, свидетельствующую о нарушении уравнений балансов активной или реактивной мощности конкретного узла. Необходимо заметить, что возникновение небалансов в узлах это лишь косвенно указывающий на возможную недостоверность параметров ТМ признак. Для дальнейшего анализа причин возникновения небалансов необходимо анализировать ряд, как технологических факторов, так и факторов, связанных с особенностями функционирования средств диспетчерского и технологического управления.

Как видно из всего описанного выше дежурный специалист ООЭ АСУ, находящийся на смене несет полную ответственность за автоматизированные системы всего диспетчерского центра при этом автоматизация рабочего процесса самого дежурного сведена к использованию автоматизированных систем мониторинга. Указанные системы мониторинга в свою очередь не только не предоставляют функционала для автоматизированного устранения недостоверностей, но и зачастую не могут с достаточной степенью достоверности указать о необходимости принятия тех или иных действий. В указанных условиях, с учетом высокой автоматизации технологических процессов и необходимости выполнения работ по оперативному обслуживанию информационно-управляющих систем автоматизирующих технологический процессы легко увидеть необходимость создания программного обеспечения (ПО) по автоматизации такого ответственного участка работы дежурного ООЭ АСУ как достоверизация параметров телеметрии.

К основным требованиям разрабатываемого ПО можно отнести:

предоставление удобного единообразного графического интерфейса;

высокая степень интеграции с имеющимися ИУС;

высокая степень автоматизации в части получения и анализа входных данных;

предоставление возможности формализованного администрирования основных процедур;

обеспечение возможности архивирования заданного набора информации;

минимизация ручных действия персонала, требуемых для вынесения заключения об истинности или ложности утверждения о недостоверности полученных данных телеметрии.

Для реализации основных требований к разрабатываемому ПО необходимо выполнение ряда требований к полноте и представлению входных данных. К таким требованиям можно отнести - унификация формы и установления жесткого перечня минимально необходимого состава предоставляемых данных при обращении пользователя по услуге недостоверность данных ТМ [5, 6].

Под унификацией формы обращения понимается совокупность административных и технических мер, обязующих использовать для обращения по услуге «недостоверность» в имеющейся территориально распределенной системе обработки обращений (Service Desk) специально созданной формой с полями обязательными к заполнению и исключение других форм обращения по данной услуге (электронная почта и телефон).

На этапе промышленной эксплуатации структура предлагаемого ПО имеет следующий вид (рис. 5).

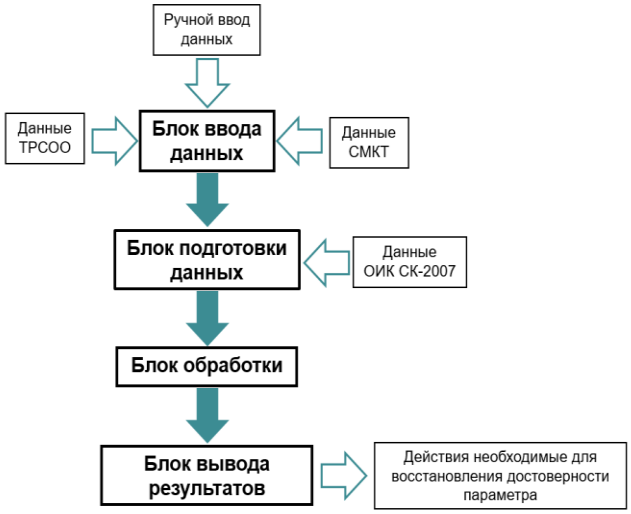


Рисунок 5 - Структура ПО на этапе промышленной эксплуатации

На первоначальном этапе в блоке обработки предлагалось использовать взаимное сопоставление таблиц, полученных в результате подготовки и унификации в блоке подготовки данных по алгоритму на представленному на рисунке 6.

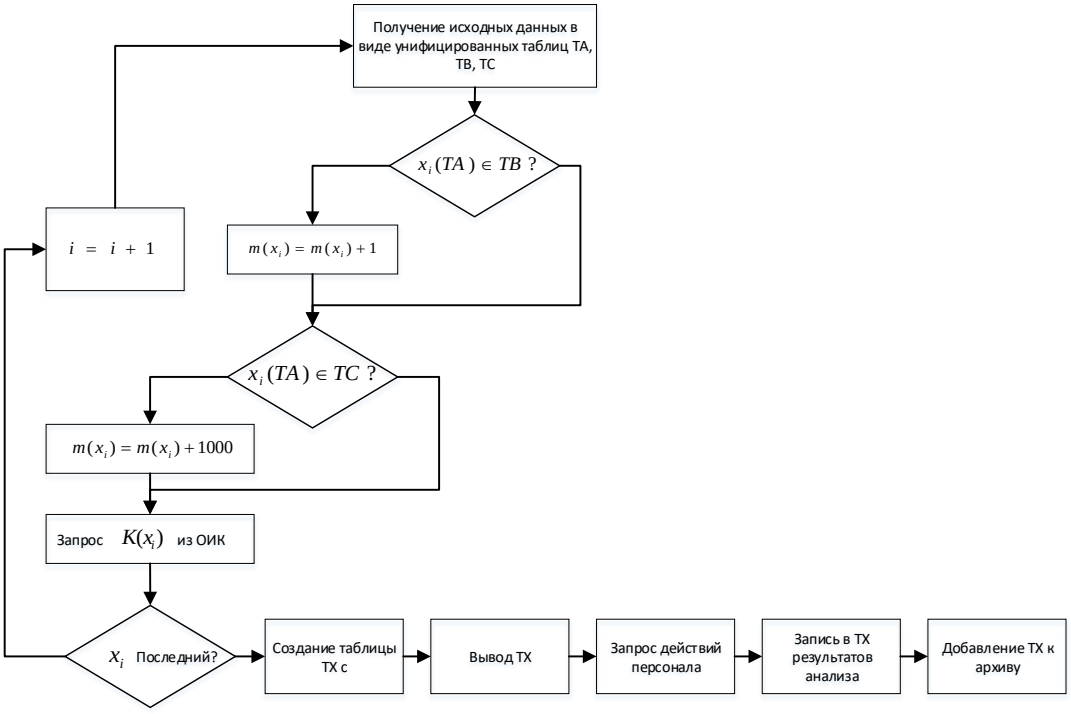


Рисунок 6 - Алгоритм сопоставления унифицированных таблиц

Даже указанного сопоставления было достаточно для получения предварительного заключения об истинности или ложности вывода о достоверности конкретного параметра ТМ и по результатам анализа должно уменьшить время обработки обращений по ложно недостоверным параметрам. В результате обработки предполагалось сформировать результирующую таблицу достоверизации (таблица 1), в которой с использованием весовых коэффициентов, полученных для свойств каждого параметра, будет приводится соответствующая

Результирующая таблица достоверизации Таблица 1

№ пп	Идентификатор ОИК	Наименование	Код качества	m	P(m)	Заключение
1	27351	Тобольская ТЭЦ 110 кВ U	00 000 100	1000	0.3	Недостоверен
2	11328	Вынгапур 1СШ 110 кВ Ubc	00 000 001	1	0.9	Достоверен
3	103	Тюмень-Рефтинская ГРЭС ВЛ-500 Р отд	00 000 200	1001	0.7	Недостоверен
4	10611	Бачкун 1С 110 кВ F /тэс	00 000 100	0	0.1	Достоверен
5	5702	УГТЭС-72-Уренгой 1ц ВЛ 110 кВ Q	00 000 001	1001	0.7	Недостоверен

Примечание. P(m) – эмпирически подобранная характеристика полученная с использованием ранее описанного алгоритма.

В результате анализа существующих методов сопоставления метрик было выявлено отсутствие у большинства из них гибкости в части количества и типа входных данных. Так, например, в случае использования способа простого наращивания весового коэффициента до выполнения какого-либо условия было необходимо заранее учитывать все возможные свойства входных данных, влияющие на их достоверность и закладывать дополнительные итерации в алгоритм с целью дальнейшего расширения функционала в случае выявления дополнительных факторов. Как следствие было принято решение использовать метод экспертного анализа, который в общем случае позволяет получить требуемую гибкость, но в явном виде не обеспечивает

требований к вынесенному заключению в виду отсутствия множества мнений относительно каждого случая. В свою очередь применения экспертного подхода было уже заложено в алгоритм сопоставления результатов достоверизации полученных различными путями, и получаемая метрика свидетельствовала о высокой или низкой согласованности «мнений» [7].

Так как в последнее время мы все чаще слышим о том, что та или иная поисковая система начала использовать технологии нейронных сетей. Была рассмотрена возможность использования искусственной нейронной сети (ИНС) для указанной задачи. В процессе анализа стало понятно, что входные данные при условии дополнительной обработки (адаптации) могут быть использованы непосредственно как входные для соответствующей ИНС. Дальнейшая обработка предполагает на этапе обучения сопоставление полученных метрик с действиями, предпринимаемыми персоналом ООЭ АСУ для восстановления требуемого качества телеметрии. Таким образом был изменен подход к проектируемому программному обучению. На рисунке 7 приведена структура ПО на этапе обучения ИНС [8].

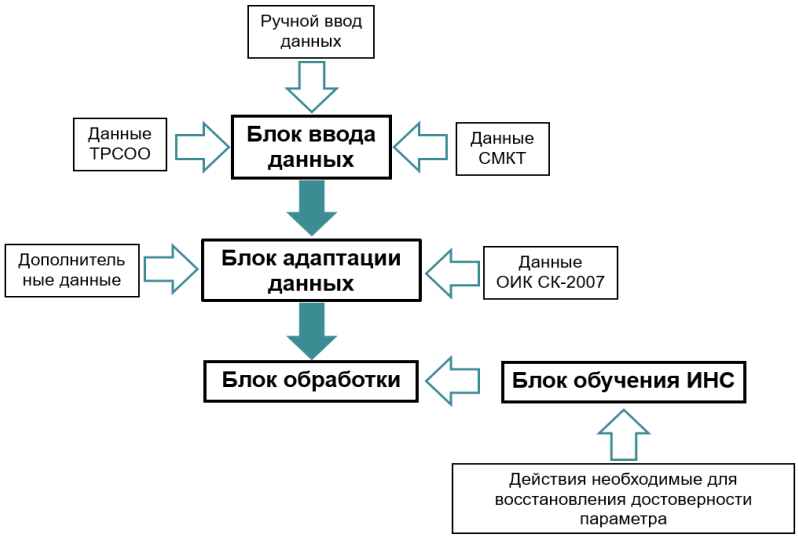


Рисунок 7 - Структура разрабатываемого ПО на этапе обучения ИНС

На этапе обучения не предполагается получения выходных данных, поэтому блок вывода данных отсутствует. Дополнительно предусмотрена возможность внесения внешних критериев, неявно влияющих в конкретной ситуации на достоверность параметров. К таким критериям, например, можно отнести погодные явления. После обучения ИНС структура ПО будет иметь вид, представленный на рисунке 8.

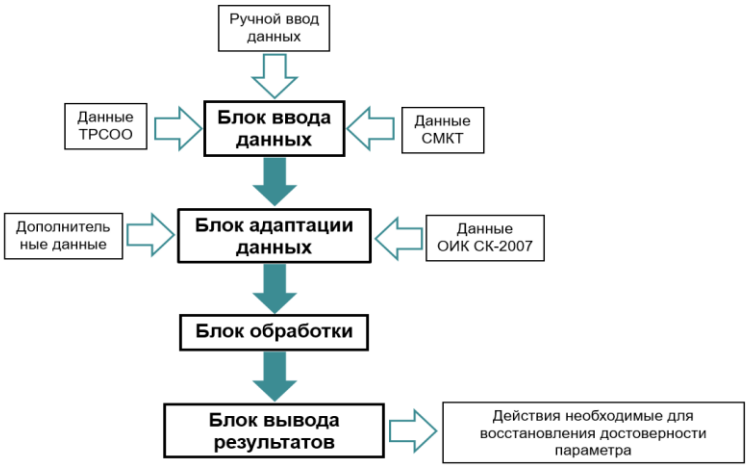


Рисунок 8 - Структура разрабатываемого ПО на этапе эксплуатации

Исходя из предполагаемой архитектуры ПО необходимо обеспечить однородность поступающих в блок обработки данных, так как в общем виде поступающие данные не удовлетворяют критерию однородности, а требование по наличию интерфейса для администрирования основных процедур не включает в себя

Для изучения возможности использования искусственных нейронных сетей в задаче достоверизации параметров телеметрии, была выбрана простейшая реализация трехслойной нейронной сети, на языке программирования Python 3.6.1, с обратным распространением и выполнением 100000 итераций на этапе обучения. Для адаптации имеющихся данных было произведено преобразование кодов качества, указанных в таблице 1, параметров телеметрии. Преобразование было сведено к установлению величины значимой части кода, после которой параметр считается недостоверным по коду качества. За наиболее удобную величину был взят код качества со значимой частью равной 99, то есть, все значения кодов со значимой частью больше 99, считаются недостоверными по коду качества. Результат преобразования приведен в таблице 2.

Преобразование кодов качества Таблица 2

Код качества	Тип недостоверности	Преобразованный код
00 000 001	недостоверность: дребезг ТС	1
00 000 010	недостоверность: необновление	1
00 000 100	источник: технологическая задача	1
00 000 200	недостоверность: подозрение на скачок	0
40 000 000	источник: повтор предыдущего значения	0

Адаптированные данные для расчета указанной нейронной сети приведены в таблице 3.

Адаптированные данные для расчета Таблица 3

№	Идентификатор ОИК	Наименование	Код качества соответствующий метке времени	Текущий код качества	m	flag
1	27351	Тобольская ТЭЦ 110 кВ U	1	1	0	1
2	11328	Вынгапур 1СШ 110 кВ Ubc	1	0	1	1
3	103	Тюмень-Рефтинская ГРЭС ВЛ-500 Р отд	0	0	1	0
4	10611	Бачкун 1С 110 кВ F /тэс	1	1	0	1
5	5702	УГТЭС-72-Уренгой 1ц ВЛ 110 кВ Q	1	1	1	1

Для обучения нейронной сети, необходим набор заключений о достоверности параметров, вынесенных экспертом после ручной достоверизации параметров.

Указанный набор заключений приведен в таблице 4 вместе с результатами расчетов, полученными с использованием ИНС. Листинг кода и результаты расчета на адаптированных данных приведён на рисунке 9. С целью оценки адекватности используемой нейронной сети на первом этапе были условно приняты экспертные заключения о недостоверности параметра – 27351 Тобольская ТЭЦ 110 кВ U и достоверности параметра – 10611 Бачкун 1С 110 кВ F /тэс, имеющих одинаковые входные данные для расчета.

Экспертные заключения и результаты первого расчета Таблица 4

№	Идентификатор ОИК	Наименование	Экспертное заключение	Результат расчета
1	27351	Тобольская ТЭЦ 110 кВ U	0	0.50000514
2	11328	Вынгапур 1СШ 110 кВ Ubc	1	0.99932195
3	103	Тюмень-Рефтинская ГРЭС ВЛ-500 Р отд	1	0.99849373
4	10611	Бачкун 1С 110 кВ F /тэс	1	0.50000514
5	5702	УГТЭС-72-Уренгой 1ц ВЛ 110 кВ Q	1	0.99849376

Из полученных на первом этапе обучения результатов видно, что рассчитанные параметры совпадают с заключением выносимым экспертом за исключения случаев с различными оценками для одинаковых входных данных. Такое поведение очевидно, так как алгоритм расчета выходных данных для каждого параметра идентичен. Данная ситуация возможна и в реальной жизни, выходом из нее может послужить тот самый критерий, руководствуясь которым эксперт вынес заключение для спорных параметров. Адаптацию и трактовку подобного рода критерия можно осуществить с использованием описанных выше принципов.

В таблице 5 приведены результаты расчетов для исключающих факт различных экспертных заключений по параметрам с одинаковыми входными данными.

Экспертные заключения и результаты второго расчета Таблица 5

№	Идентификатор ОИК	Наименование	Экспертное заключение	Результат расчета
1	27351	Тобольская ТЭЦ 110 кВ U	0	0.00242333
2	11328	Вынгапур 1СШ 110 кВ Ubc	1	0.99975041
3	103	Тюмень-Рефтинская ГРЭС ВЛ-500 Р отд	1	0.99999228
4	10611	Бачкун 1С 110 кВ F /тэс	0	0.00242333
5	5702	УГТЭС-72-Уренгой 1ц ВЛ 110 кВ Q	1	0.99683302

Из таблицы 5 видно, что в случае вынесения экспертом одинаковых заключений для параметров с одинаковыми входными данными результат расчета полностью соответствует ожидаемому.

Как говорилось выше интерфейс должен быть унифицирован и интуитивно понятен. На рисунке 9 представлен внешний вид интерфейса, проектируемого ПО на этапе обучения нейронной сети. При запуске ПО с установленным флагом «Загружать исходные данные при старте» происходит автоматическая загрузка исходных данных из всех имеющихся автоматизированных систем. Настройки текущего пользователя сохраняются в личном профиле ПО. В противном случае, при не установленном флаге «Загружать исходные данные при старте», присутствует возможность принудительной загрузки данных или ввода идентификатора ОИК для дальнейшего анализа. При нажатии кнопки «Анализировать имеющиеся недостоверности» на этапе обучения ИНС происходит анализ количества проведенных циклов обучения для набора свойств (метрик) каждого параметра и в случае если обучение по указанным входным данным завершено предлагается «Рекомендуемое действие». Если же обучение по указанному набору не завершено в столбце рекомендуемое действие появляется выпадающий список с предложением выбора предпринятого действия.

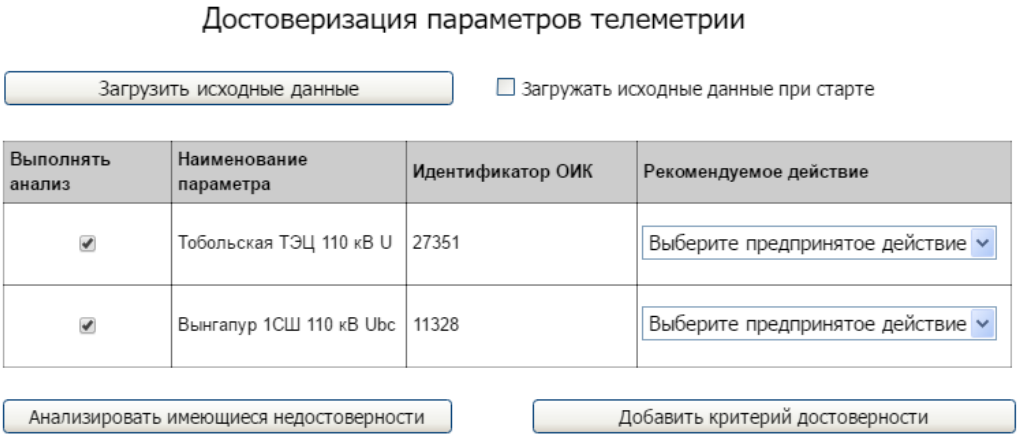


Рисунок 9 - Вид интерфейса, проектируемого ПО на этапе обучения нейронной сети

Количество используемых для окончательного обучения выборок задается в коде ПО и хранится как глобальная постоянная. При нажатии кнопки «Добавить критерий достоверности» происходит запуск процесса обучения ИНС с учетом увеличения размерности сети. На рисунке 10 представлен вид ПО после окончания обучения ИНС и получения результатов анализа указанных параметров телеметрии.

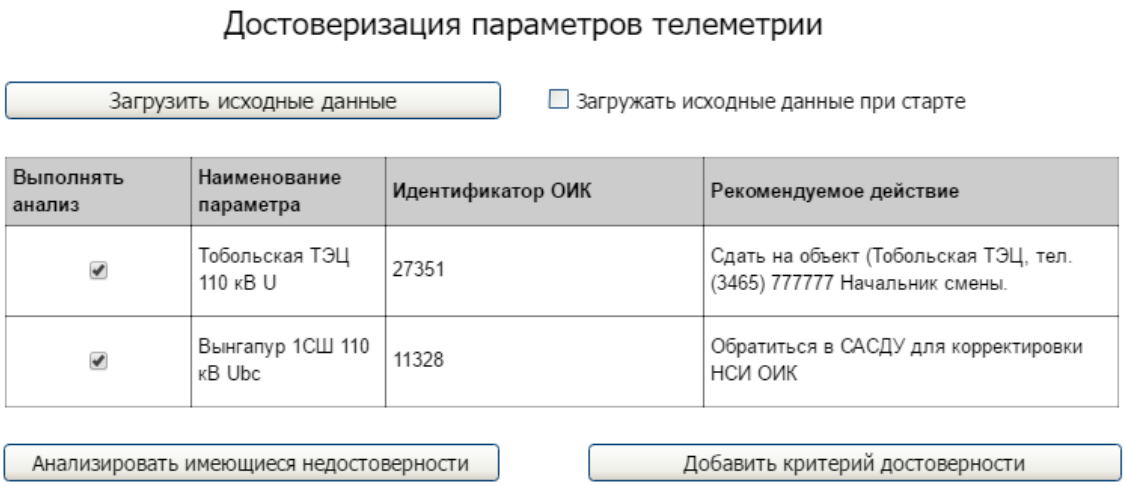


Рисунок 11 - Вид интерфейса, проектируемого ПО на этапе промышленной эксплуатации

В результате проведенного исследования было получено представление о возможности использования искусственных нейронных сетей для автоматизации процесса поиска и устранения ошибок телеметрии принимаемой диспетчерским центром электроэнергетики. Несмотря на решение не всех поставленных задач можно говорить о полном соответствии результатов работы ожиданиям авторов. В процессе выполнения работы были решены следующие задачи: разработка метода достоверизации параметров телеметрии объединяющего достоинства и исключающего недостатки имеющихся; разработка алгоритма функционирования программного обеспечения для автоматизации процесса достоверизации; разработка программного обеспечения для автоматизации процесса достоверизации.

К частично решенным задачам можно отнести задачу по апробации и внедрению результатов работы в диспетчерском центре электроэнергетики. Решение данной задачи остается вопросом времени ведь помимо убедительных результатов настоящего исследования необходимо разработать ПО удовлетворяющее требованиям, предъявляемым к программным продуктам в АО «СО ЕЭС».

Однако необходимо отметить, что разработанное программное обеспечение с учетом внесения административных изменений в процесс достоверизации параметров телеметрии может в высокой степени автоматизировать труд сотрудников Отдела оперативной эксплуатации автоматизированных систем управления, а также позволит в некоторых ситуациях отказаться от ложного обращения по услуге достоверности данных телеметрии. Уменьшение «ручного» труда вышеуказанных сотрудников должно позволить уделить больше внимания другим немаловажным задачам решаемым ООЭ АСУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров А.В., Козырев Г.И., Шитов И.В. и др. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс. – СПб.: Наука и техника, 2007. – 672с.

2. Гамм А.З., Герасимов Л.Н., Колосок И.Н. и др. Оценивание состояния в электроэнергетике. М.: Наука, 1983. - 320 с.

3. Официальный сайт Системного оператора единой энергетической системы Российской федерации http://so-ups.ru

4. Автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) подстанции СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007- 35.240.01.023-2009.

5. Занин А.С., Бушмелева К.И. Автоматизация процесса достоверизации телеметрии диспетчерского центра электроэнергетики //Вестник кибернетики 2017. № 4 (28). С. 139–145.

6. Бурдыко Т.Г., Бушмелева К.И. Использование метрик для тестирования программного продукта //Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 2. С. 167-169.

7. Занин А.С., Бушмелева К.И. Достоверизация телеизмерений в системах управления сложными структурами на примере ОАО «СО ЕЭС» //Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2017. Т. 2. С. 7-8.

8. Занин А.С., Бушмелева К.И. Адаптация данных и обучение простейшей нейронной сети //Вестник кибернетики. 2018. № 4 (32). С. 177-183.

УДК 621.396.6

Власов М.А., Сучков А.В., Сергин С.Ф.

ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Россия

К ВОПРОСУ О ПОДТВЕРЖДЕНИИ ЧИСЛЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

В статье приводится методика подтверждения численных показателей надежности и безопасности пиротехнических устройств. Представленный методологический подход позволяет сократить не только требуемое количество образцов для испытаний, но и время проведения этих испытаний.

Ключевые слова:

НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ, КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВВ

В промышленности и военном деле очень широко используются одноразовые устройства *(однократного применения)*, в состав которых входят различные взрывчатые вещества.

Основным показателем безопасности устройств такого типа является вероятность отсутствия их самопроизвольного срабатывания без воздействия инициирующего импульса – R. По сути дела это случайная величина является обратной (дополняющей до 1) вероятности самопроизвольного срабатывания q^{cc} являющейся одним из показателей надежности:

$$R = 1 - q^{cc}. \quad (1)$$

Поскольку самопроизвольное срабатывание ведет к невыполнению (или несвоевременному выполнению) устройством заданных функций, данное событие является одной из форм отказа [1]. Подход к оценке природы отказа, как к событию случайному, то есть как к событию, описываемому только двумя состояниями, обусловлен только нашим незнанием причин данного события – начальных условий. Действительно, даже пример с подбрасыванием монетки является, по сути физическим и однозначно предсказуемым в случае, когда известны начальное положение монеты, точка приложения и параметры импульса силы, состояние атмосферы (ветер, плотность) и т.д. Таким образом, подход Бернулли (биномиальный закон) является лишь наиболее простым [2], но не наиболее правильным при прогнозировании исходов событий. Наиболее правильным является, по нашему мнению, модельный подход к прогнозированию, когда каждый из воздействующих факторов заменяется случайной величиной физической природы с собственным законом и параметрами распределения. Практическое применение такого подхода возможно для тех событий, для которых перечень воздействующих факторов можно ограничить и описать физическими моделями.

Задача оценки вероятности самопроизвольного срабатывания устройств может, в большинстве случаев, быть решена описанным выше способом физических вероятностных моделей.

Наиболее логично применение данного способа для описания пиротехнических устройств, для которых оценивается вероятность их самопроизвольного срабатывания в нормальных условиях эксплуатации в отсутствии инициирующего импульса.

Поскольку оценивается только указанная вероятность, то необходимо рассматривать только факторы, способствующие этому событию и, при испытаниях, не принимать в расчет все исходы, приводящие к разрушению устройства, но не приводящие к его самопроизвольному срабатыванию.

Срабатывание любого пиротехнического устройства связано с началом процесса горения или взрывчатого превращения, что в свою очередь зависит от чувствительности взрывчатых веществ (ВВ), входящих в состав данного устройства [3].

Чувстви́тельность — характеристика восприимчивости взрывчатых веществ (ВВ), к определенному внешнему воздействию.

Чувствительность ВВ чаще всего представляют в виде минимального значения какого-либо внешнего воздействия (начального импульса), которое с определённой (чаще всего 100-процентной) вероятностью приводит к возгоранию или взрыву этого ВВ. Эта характеристика является очень важной для организации безопасного производства, перевозки и применения ВВ.

Наиболее распространёнными, а во многих случаях и стандартизиро-ванными, являются следующие виды чувствительности ВВ [4]:

к удару;
к наколу;
к трению;
к нагреву (температура вспышки);
к воздействию пламени;
к воздействию искры;
к прострелу пулей (осколком);
к детонации (восприимчивость к детонации).

Пиротехнические приборы в отличие от боеприпасов, как правило, делятся на три группы – средства задействования (предназначенные для инициирования других устройств), средства передачи огневого или детонационного импульса и исполнительные устройства (предназначенные для выполнения требуемой функции).

Средства задействования сочетают в себе устройство генерирования инициирующего импульса – электрическое (искра) или механическое (накол или удар) и непосредственно ВВ чувствительное либо к воздействию искры, либо, соответственно, к механическому воздействию – наколу или удару и флегматичное к любому другому воздействию.

Устройства передачи огневого или детонационного импульса, а также исполнительные устройства имеют в своем составе либо бризантные ВВ, либо пиротехнические составы или пороха которые чувствительны либо к воздействию открытого пламени, либо к детонации и флегматичные к любому другому воздействию.

Бризантные (вторичные) — вещества с высокой бризантностью, которой соответствует большая скорость распространения взрывной волны в веществе. От инициирующих отличаются меньшей чувствительностью.

Пиротехнические составы (зажигательные, осветительные, сигнальные и трассирующие), применяемые для снаряжения специальных боеприпасов, представляют собой механические смеси из окислителей и горючих веществ. При обычных условиях применения они, сгорая, дают соответствующий пиротехнический эффект (зажигательный, осветительный и т. д.). Многие из этих составов обладают также и взрывчатыми свойствами и при определенных условиях могут детонировать.

Пороха делятся на дымные и бездымные. Представителями первой группы могут служить черные пороха, представляющие собой смесь селитры, серы и угля, например артиллерийский и ружейный пороха, состоящие из 75 % калиевой селитры, 10 % серы и 15 % угля. Температура вспышки дымных порохов равна 290—310 °C. Ко второй группе относятся пироксилиновые, нитроглицериновые, дигликолевые и другие пороха. Температура вспышки бездымных порохов равна 180—210 °C.

Таким образом, пиротехнические приборы могут сработать только в результате специфических воздействий характерных только для условий применения и отсутствующих при нормальных условиях эксплуатации.

Следовательно самопроизвольное срабатывание может быть обусловлено только возможной чувствительностью ВВ из состава указанных приборов к факторам, характерным для нормальных условий эксплуатации. Это обстоятельство и обуславливает физическую модель эксперимента как имитацию отдельных факторов с определенным запасом (превышением) по уровню относительно предполагаемого максимального их воздействия при эксплуатации.

Теоретические выкладки и схему эксперимента можно составить при следующих допущениях:

– закон распределения чувствительности ВВ по соответствующему воздействующему фактору нормальный (распределение Гаусса) с параметрами:

– $\hat{F}_{\text{вз}}$ – математическое ожидание (1$^{\text{ый}}$ момент);

– $\sigma_{F_{\text{вз}}}$ – среднее квадратическое отклонение (корень 2$^{\text{ого}}$ момента);

– коэффициент вариации: $\nu = \frac{\sigma_{F_{\text{вз}}}}{\hat{F}_{\text{вз}}}$;

– испытательная нагрузка (уровень нагружения по соответствующему воздействующему фактору) и максимальный уровень рабочей нагрузки – величины дискретные;

– испытательная нагрузка – величина постоянная, т.е. пренебрегаем погрешностью воспроизведения нагрузки.

Схема математической модели испытаний приведена на рисунке 1,

Вероятность срабатывания устройства при уровне воздействия, меньшем или равном испытательному, определяется прямыми испытаниями n устройств нагрузкой равной $F_{исп}$, при которых фиксируются срабатывания m из них.

Таким образом, апостериорная вероятность будет составлять: $\text{Вер}(F_{\text{вз}} \le F_{\text{исп}}) = \frac{m}{n}$, а в случае отсутствия срабатываний ($m=0$) – $\text{Вер}(F_{\text{вз}} \le F_{\text{исп}}) = \frac{0{,}693}{n}$, что будет соответствовать квантилю (см. рис. 1):

$$U_{\text{исп}} = \frac{F_{\text{исп}} - \hat{F}_{\text{вз}}}{\sigma_{F_{\text{вз}}}} = \frac{F_{\text{исп}} - \hat{F}_{\text{вз}}}{\nu \cdot \hat{F}_{\text{вз}}} \quad (2)$$

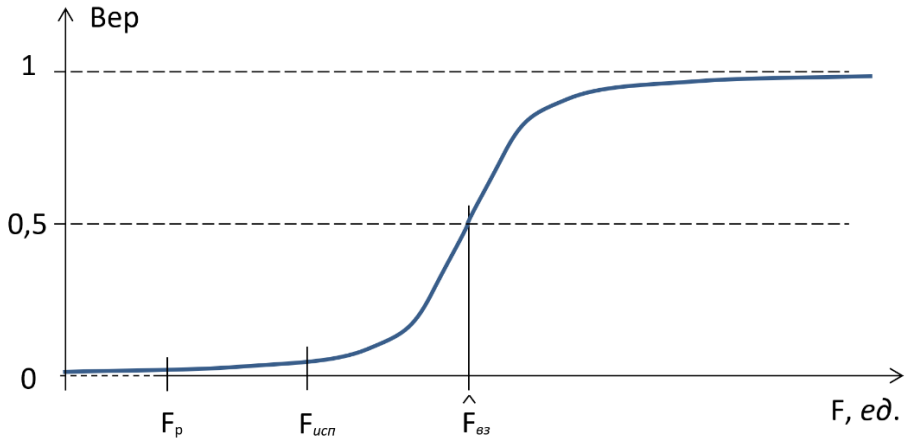


Рисунок 1 - Математическая модель испытаний, где: F– уровень воздействия (ед); $\hat{F}_{вз}$ – точечное значение чувствительности ВВ, т.е. уровня воздействия, приводящего к срабатыванию устройства (ед); $F_р$ – максимальный уровень воздействия, соответствующий условиям нормальной эксплуатации устройства (ед); $F_{исп}$ – уровень воздействия, воспроизводимый при испытаниях (ед).

Квантиль в математической статистике — значение, которое заданная случайная величина не превышает с фиксированной вероятностью. В случае нормального распределения это верхний предел (U) интеграла нормированной функции плотности нормального распределения:

$$\text{Вер}(x \le U) = \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{U} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

Квантиль вероятности срабатывания при уровнях воздействия соответствующих нормальной эксплуатации (т.е. вероятности $\text{Вер}(F \le F_P)$) будет равняться:

$$\Phi^{-1}(1-R) = U_P = \frac{F_P - \hat{F}_{вз}}{\nu \cdot \hat{F}_{вз}}, \qquad (3)$$

где: $\Phi^{-1}(x)$ – квантиль интеграла нормированной функции плотности нормального распределения соответствующий значению этого интеграла равному x.

Выразив из выражений (2) и (3) $F_{исп}$ и $F_р$ соответственно, можно определить необходимый испытательный запас η по уровню воздействия, который необходим для подтверждения заданной вероятности срабатывания устройства при нормальных условиях эксплуатации:

Из (1): $F_{исп} = U_{исп} \cdot \nu \cdot \hat{F}_{вз} + \hat{F}_{вз} = \hat{F}_{вз} \cdot (U_{исп} \cdot \nu + 1)$;

Из (3): $F_P = U_P \cdot \nu \cdot \hat{F}_{вз} + \hat{F}_{вз} = \hat{F}_{вз} \cdot (U_P \cdot \nu + 1)$;

$$\eta = \frac{F_{исп}}{F_P} = \frac{\hat{F}_{вз} \cdot (U_{исп} \cdot \nu + 1)}{\hat{F}_{вз} \cdot (U_P \cdot \nu + 1)} = \frac{U_{исп} \cdot \nu + 1}{U_P \cdot \nu + 1} \qquad (4)$$

Поскольку внешние воздействия имитировать с коэффициентом запаса комплексно в большинстве случаев невозможно и не имеет смысла, то для испытаний необходимо принять еще одно допущение, которое позволит оценить общий показатель безопасности. Необходимо принять, что срабатывания от каждого отдельного фактора внешнего воздействия являются событиями не только случайными, но и независимыми. Следовательно, общий показатель безопасности прибора R_Σ при нормальных условиях эксплуатации будет равен произведению вероятностей несрабатывания R_i для каждого i-ого воздействующего фактора из n возможных:

$$R_\Sigma = \prod_{i=1}^{n} R_i . \qquad (5)$$

Используя сформулированное допущение и предположение об одинаковом необходимом уровне безопасности прибора к воздействию каждого фактора, т.е. $R_1 = R_2 = \ldots = R_i = R$, можно из выражений (4) и (5) вывести формулу вычисления необходимого испытательного коэффициента запаса для отдельного фактора:

$$\eta = \frac{U_{исп} \cdot \nu + 1}{\Phi^{-1}(1 - \sqrt[n]{R}) \cdot \nu + 1}. \qquad (6)$$

Поскольку требования по вероятности самопроизвольного срабатывания пиротехнических устройств задаются в виде точечных значений, то предлагаемая методика вполне применима для подтверждения указанных требований.

Заключение

Описанная в данной статье методика подтверждения требований по безопасности пиротехнических устройств имеет явное преимущество перед методиками, основанными на биномиальной схеме, так как сокращает не только требуемое количество образцов для испытаний, но и время испытаний, потому что исчезает само понятие интенсивности отказов. А вместе с ним исчезает и необходимость бессмысленной имитации длительной эксплуатации и замены испытаний N приборов испытаниями одного прибора N раз основанного на недоказанном априорном предположении об эргодичности системы (генеральной совокупности приборов).

Эргодичность — специальное свойство некоторых динамических систем, состоящее в том, что в процессе эволюции почти каждое состояние с определённой вероятностью проходит вблизи любого другого состояния системы. Система, в которой фазовые средние совпадают с временными, называется эргодической. Для эргодических систем математическое ожидание по временным рядам должно совпадать с математическим ожиданием по пространственным рядам.

Более простое объяснение: для расчёта/определения параметров системы можно долго наблюдать за поведением одного её элемента, а можно за очень короткое время рассмотреть все её элементы (или достаточно много элементов). В обоих случаях получатся одинаковые результаты, если система обладает свойством эргодичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов О.В. Об оценке вероятности наступления рискового события: функционально-параметрический подход //Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2-х томах. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2016. – Т.1. – С. 24-31.

2. Сучков А.В., Власов М.А., Клименко Н.Н., Сергин С.Ф. Критерий достаточности статистической информации для подтверждения надежности приборов сложных технических систем одноразового применения в процессе эксплуатации //Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2-х томах. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2018. – Т.1. – С. 119-122.

3. Дик В.Н. Взрывчатые вещества, пороха и боеприпасы отечественного производства. Справочник в двух частях. Ч.1 Справочные материалы. Изд. «Охотконтракт» Минск 2009.

4. Будников М.А., Левкович Н.А., Быстров И.В., Сиротинский В.Ф., Шехтер Б.И.. Взрывчатые вещества и пороха. Государственное издательство оборонной промышленности Москва 1955.

УДК 539.26

Алимова[1,2] Е.А., Аверин[2] И.А.

[1]АО «Научно-исследовательский институт электронно-механических приборов», Пенза, Россия
[2]ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

АНАЛИЗ ВОДОРОДНОЙ ХРУПКОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБРАЗЦОВ МЕДИ МЕТОДОМ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Бескислородная медь широко используется в электровакуумной промышленности. В частности, для изготовления электродов вакуумных коммутирующих устройств. От качества используемой меди в значительной степени зависит работоспособность вакуумно-коммутирующего устройства, в том числе, коммутационный ресурс – суммарная наработка от начала его эксплуатации до перехода в предельное состояние. Данный параметр в наибольшей степени отражает степень износа компонентов и узлов вакуумно-коммутирующих устройств. Рассмотрены основные способы контроля водородной хрупкости бескислородной меди. Показано, что методы растровой электронной микроскопии позволяют оценить качество меди с высокой точностью, что способствует повышению коммутационного ресурса вакуумно-коммутирующих устройств.

Ключевые слова:

БЕСКИСЛОРОДНАЯ МЕДЬ, ВОДОРОДНАЯ ХРУПКОСТЬ, РАСТРОВЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП, ВАКУУМНО-КОММУТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Введение

Вакуумные коммутирующие устройства (ВКУ) широко используются в радиотехнической аппаратуре для коммутации высоких напряжений и токов в наносекундном диапазоне. Данные изделия относятся к изделиям ответственного назначения, неисправность которых может повлечь не только крупные материальные потери, но и многочисленные человеческие жертвы, поэтому вопрос обеспечения их надежности стоит на первом месте. Работоспособность ВКУ в значительной степени характеризуется таким показателем надежности, как коммутационный ресурс – суммарная наработка от начала его эксплуатации до перехода в предельное состояние. Данный параметр в наибольшей степени отражает степень износа компонентов и узлов ВКУ.

Электроды ВКУ изготавливаются из меди. Из выпускаемых в России марок стандартной меди в электротехнической промышленности в основном используются медь М1 и М0. Так, медь М1 содержит 99,90 % Cu, медь М0 - 99,95 % Cu. Маркировка меди проводится по содержанию примесей в основном металле. В электровакуумной технике к числу наиболее вредных примесей в меди следует отнести кислород. При повышенном его содержании заметно ухудшаются механические и технологические свойства меди, а также затрудняется пайка и лужение. Наибольшую опасность представляет наличие кислорода в меди, используемой для получения электродов ВКУ, поэтому для их изготовления применяют так называемую бескислородную медь, чистотой 99,99% и выше (OFC – Oxygen-Free Copper).

Бескислородная медь является дорогим продуктом, поэтому в погоне за прибылью производители меди часто используют вместе с исходным продуктом лом сомнительного происхождения, нарушают технологию производства. В связи с закрытием отечественных предприятий, занимающихся прокатом меди, на отечественном рынке появилось большое количество дилеров, предлагающих медь сомнительного качества под видом европейской продукции (Германии, Болгарии, Франции и т. д.), к которой чаще всего прилагаются реально существующие сертификаты с измененными номерами, датами, объемами и т.п. В расплав при получении меди могут попасть различные химические элементы и их соединения, существующие в ломе. Такая медь может иметь низкие электропроводность и пластичность, что влияет на деформационные свойства металла. Большинство производителей указывают в своих сертификатах качества только содержание меди без указания примесей, в том числе и растворенных газов скрывая, что их содержания выходят за рамки требований стандарта. При этом концентрация меди соответствует стандарту, поэтому помимо содержания кислорода в используемой при производстве ВКУ меди необходимо проверять весь спектр химических элементов, содержащихся в металле.

Методы растровой электронной микроскопии являются наиболее подходящими для входного контроля меди, используемой на предприятиях электронно-вакуумной промышленности, так как позволяют обеспечить не только высокое разрешение (до 3 нм) при контроле поверхности меди, но и определить химический состав. Целью данной статьи является анализ возможности использования методов растровой электронной микроскопии для повышения качества контроля водородной хрупкости меди. Базой для проведения исследований является Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электронно-механических приборов» (АО «НИИЭМП»), специализирующийся на разработке и промышленном выпуске ВКУ.

Основная часть

Для исключения образования различных окислов, ухудшающих контактирование, медь в вакуумной промышленности паяют при высокой температуре (до 850°С) в инертной среде водорода. Последний проникает вглубь металла и вступает в химическую реакцию с кислородом, который распределен в металле в виде мельчайших частиц закиси меди, образуя водяной пар. Крупные молекулы воды остаются в объеме меди и накапливаются в ее мельчайших порах, где при нагревании вода постепенно достигает высокого давления и образует пузырьки, а при охлаждении металла или последующей холодной деформации эти пузырьки становятся причиной появления трещин по границам зерен в металле. Медь становится хрупкой. Это явление получило название водородная болезнь меди.

Водородная болезнь развивается не только вследствие взаимодействия водорода с закисью меди. Атомарный водород, диффундирующий с поверхности в глубь металла по границам зерен, может взаимодействовать с атомарным, сегрегированным на границах зерен кислородом, образуя пары воды кислорода в меди, содержание которого не превышает 0,001% (по массе). При отжиге кислородсодержащей меди в водороде он диффундирует внутрь металла даже при 150°С, хотя охрупчивание не наступает в течение 10 лет, так как давление паров воды при этой температуре невелико. Заметное ухудшение пластичности наступает лишь после нагрева до температур выше 374° С (критическая температура для воды, выше которой она непрерывно переходит из жидкого состояния в газообразное). Нагрев при 400° С вызывает хрупкость меди через 70 ч. Отжиг изделий из бескислородной меди в окислительной атмосфере приводит к диффузии кислорода внутрь металла в таких количествах, что при последующем нагреве в присутствии водорода наблюдается водородная болезнь не во всем объеме меди, а только в поверхностном слое [1,2].

На практике для контроля меди на отсутствие в ней кислорода изготавливают пробу –микрошлиф. На полированном шлифе при 75-кратном увеличении не должно быть видно закиси меди. После этого шлиф нагревают в потоке сухого водорода при 850° С в течение 40 мин и охлаждают в той же среде до 20° С. При допустимом содержании кислорода такая процедура не должна приводить к образованию газовых пузырей, вздутий или мелкозернистой зоны на краю образца, растравливанию по границам зерен.

Существует исследование на изгиб после отжига в водороде. Образцы меди, не содержащей кислорода, выдерживают более 10 перегибов, в то время как в присутствии 0,02% (по массе) кислорода образцы разрушаются после первого перегиба.

Медь не рекомендуется нагревать выше 1000° С во избежание пережога — сильного межкристаллитного окисления или оплавления по границам зерен [3]. Кислород в количествах до 0,1% (по массе) не очень ухудшает качество металла. При более высоких содержаниях кислород охрупчивает медь на холоде и при повышенных температурах. При высоких температурах он диффундирует по границам зерен и вызывает пережог. Медь, взаимодействуя с кислородом печной атмосферы, окисляется, образуя в зависимости от температуры два окисла: окись CuO и закись Cu_2O. При низких температурах (-100°С) на поверхности меди образуется пленка окиси меди черного цвета. При высоких температурах (выше 600° С) скорость окисления сильно возрастает, причем при этих температурах образуется плотная пленка закиси меди красного цвета. Более пластичная по сравнению с окисью закись меди менее склонна к отслаиванию. В меди, раскисленной фосфором, окисный слой независимо от температуры его образования отслаивается легко. Легирование меди изменяет ее способность к окислению. Ряд элементов (Be, Mg и Al) сильно замедляют окисление меди из-за образования барьерного защитного слоя, тормозящего диффузию кислорода внутрь металла. Заметно замедляют окисление меди кадмии и кремний, а также цинк и олово, но в больших концентрациях. Практически не влияют на окисление Ni, Fe, Co, Mn, Sb, Ag. Заметно ускоряют окисление As, Ce, Cr.

Для снижения содержания кислорода в меди на этапах ее производства для предотвращения таким образом «водородной болезни», применительно к полуфабрикатам и готовым изделиям не электротехнического назначения, используют раскисление фосфором. Так, меди российской марки М1Ф и ее европейского аналога Cu-DHP содержат от 0,012 % (0.015 % для Cu-DHP) до 0,04 % массовой доли фосфора, отчего содержание кислорода в них стремится к нулю и в силу этого даже не нормируется.

Кроме кислорода в меди может присутствовать водород. Водород попадает в медь в процессе электролиза или при отжиге в атмосфере, содержащей водяной пар. Водяной пар всегда присутствует в воздухе. При высокой температуре он разлагается с образованием водорода, который легко диффундирует в медь. В бескислородной меди атомы водорода располагаются в междоузлиях кристаллической решетки и особо не сказываются на свойствах металла. В кислородсодержащей меди при высоких температурах водород взаимодействует с закисью меди, что приводит к водородному охрупчиванию.

Контроль водородной хрупкости методом испытаний на перегиб

Согласно ГОСТ 10988-2016 [4] для контроля водородной хрупкости изготавливают специальные пробы - плоские образцы из листовой меди шириной 10 мм и длиной не менее 100 мм в направлении пластической деформации. Для обезжиривания подготовленные образцы подвергаются предварительному отжигу, который проводится при температуре 475 °С ±25 °С в течение 30 мин. Далее обезжиренные образцы отжигают в среде водорода или инертного газа с добавлением не менее 10% водорода при температуре (850±25) °С или (950±25) °С с выдержкой 30 мин и с последующим быстрым охлаждением в той же среде или в воде. После испытания осматривают кромки и наружную поверхность в месте перегиба. Далее образцы помещают в специальное устройство (рисунок 1) и проводят испытания проб на перегиб. Результаты испытания оценивают по следующим показателям:

а) достижению заданного числа перегибов без появления трещины;

б) по числу перегибов: до появления трещины на образце; до продвижения трещины до половины ширины образца; до полного разрушения образца.

Перегиб, при котором появилась трещина или образец разрушился до половины ширины, или образец разрушился полностью, - не учитывается при подсчете. Критерии для оценки результатов испытания указываются в нормативно-технической документации на металлопродукцию. В случае отсутствия таких указаний испытание прекращают при появлении трещины.

Рисунок 1 - Устройство для испытаний на перегиб

На предприятии медь запускается в производство только в том случае, когда образцы выдерживают не менее 10 перегибов на 180° в плашках с радиусом закругления, равным 2,5 кратной толщине без поломки на две части

Контроль водородной хрупкости

методом растровой электронной микроскопии

Широкое применение золотосодержащих припоев в технологическом процессе АО «НИИЭМП» привело к необходимости использовать температуры пайки меди в атмосфере водорода до 980-1040 °С, т.е. температуры, значительно выше рекомендуемых для проверки на перегиб. При этом выяснилось, что медь, исследованная на отсутствие водородной болезни по действующей методике [4,5] и признанная «здоровой», т.е. выдержавшая не менее 10 перегибов, после пайки в атмосфере водорода при 950 °С и выше охрупчивалась.

Для повышения достоверности оценивания состояния бескислородной меди предлагается использовать электронный растровый электронный микроскоп (РЭМ). Использование РЭМ позволяет получить информацию о структуре, строении и составе исследуемой поверхности, с помощью обратно-рассеянных или вторичных электронов. Контраст вторичных электронов определяется поверхностным рельефом, а отраженные частицы содержат информацию о распределении электронной плотности. На полученном с помощью РЭМ видеоизображении области с элементами, имеющими большие атомные номера, будут выглядеть намного ярче.

Этот метод дает возможность быстро получить качественную картину распределения отдельных элементов по поверхности шлифа. Изображение исследуемых объектов в РЭМ, формируется в результате сканирования образца сфокусированным

пучком электронов (пучком первичных электронов), последовательно точка за точкой. При этом при взаимодействии электронного пучка с материалом исследуемого объекта происходит возбуждение большого количества различных процессов (рисунок 2).

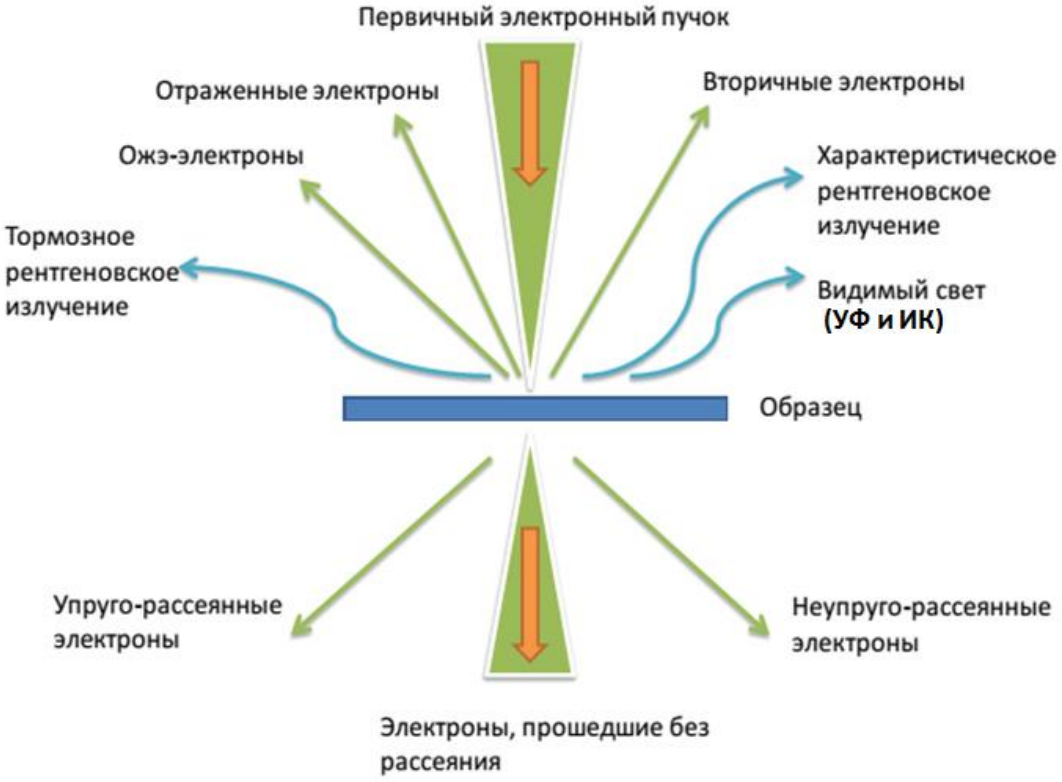
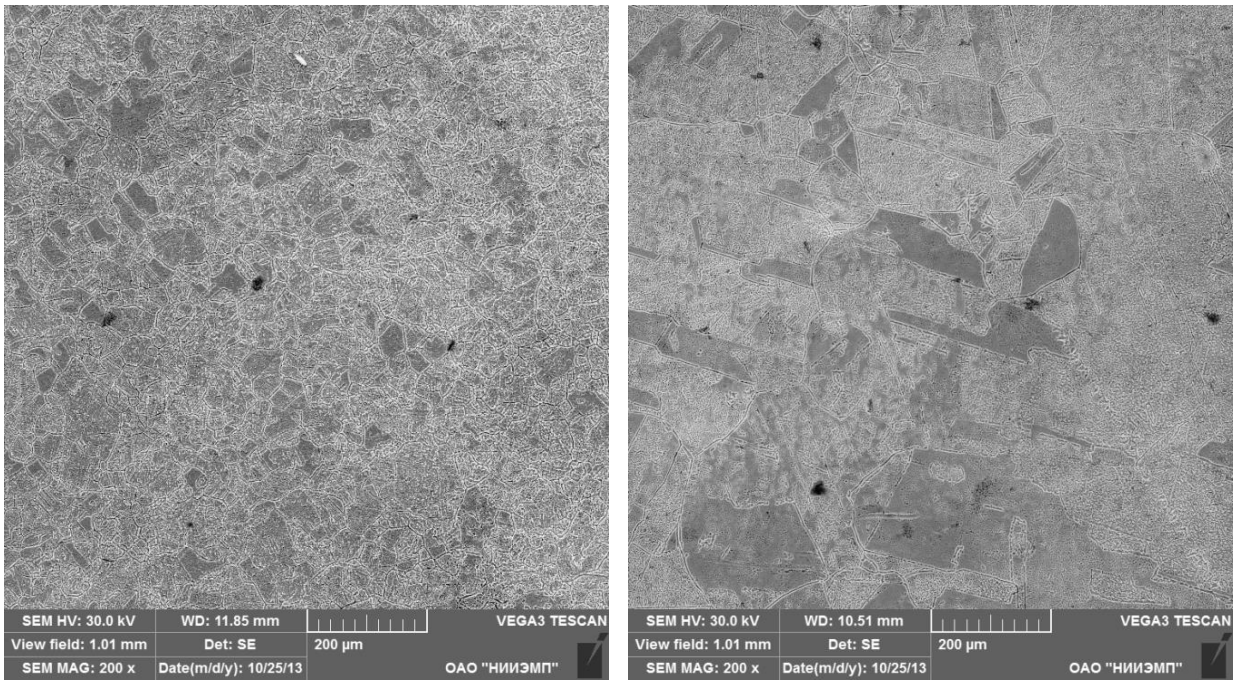


Рисунок 2 - Процессы при взаимодействии электронного пучка с образцом

Для проведения исследований методом РЭМ объекты должны отвечать ряду требований. Во-первых, исследуемые образцы должны иметь подходящий размер, ограниченный сверху размерами шлюза рабочей камеры и быть устойчивыми к облучению пучком электронов. Во-вторых, поскольку исследования проводятся в вакуумной камере, образцы должны быть стабильны и не возгоняться/испаряться при давлении. Наконец, исследуемые образцы не должны способствовать избыточному накоплению заряда, спровоцированного электронным пучком.

Авторами были проведены следующие исследования. Контрольные образцы исследовались на РЭМ типа VEGA 3 SBH (производства компании TESCAN), предварительно были отшлифованы и протравлены для получения микроструктуры [1,6]. Прошедшие испытания на перегиб контрольные образцы не должны иметь пор, трещин и других структурных нарушений. На рисунках 3 приведены изображения таких контрольных образцов.



а б

Рисунок 3 - Изображение микроструктуры образцов меди, прошедших двухэтапный контроль

Однако анализ изображений показывает, что первый образец (рисунок 3,а) имеет мелкозернистую структуру, области зерен сравнимы по площади, в то время как микроструктура второго образца (рисунок 3,б) имеет явные включения посторонних примесей, несмотря на наличие удовлетворительного сертификата. Посторонние примеси, а также большие различия площадей зерен могут послужить причиной возникновения дефектов при последующей механической обработке образцов меди.

Заключение

Из анализа результатов исследований, следует, что стандартные методы, регламентированные ГОСТ, не всегда обеспечивают полную информацию о качестве меди. Лишь сочетая различные методы, можно получить объективную оценку свойств анализируемого материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобылев А.В.. Механические и термические свойства металлов: Справочник. М.: «Металлургия», 1987, с.29-42.

2. Новиков И.И.. Теория термической обработки металлов. М.: «Металлургия», 1986.

3. Тихонов Б.С.. Медь и медные деформированные полуфабрикаты. М.: Цветметинформация, 1974, 74 с.

4. ГОСТ 24048-80 (СТ СЭВ 459-77, ИСО 2626-73) Медь. Методы определения стойкости против водородной хрупкости (с Изменениями N 1, 2) [Электронный доступ] http://docs.cntd.ru/document/1200010972

5. ГОСТ 13813-68 (ИСО 7799-85) Металлы. Метод испытания на перегиб листов и лент толщиной менее 4 мм (с Изменениями N 1, 2) [Электронный доступ] http://docs.cntd.ru/document/1200008787

6. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: «Металлургия», 1981.

7. Александров В.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебное пособие. Часть 1. Материаловедение. Стандарт третьего поколения/ В.М. Александров.- Архангельск: Северный федеральный университет, 2015.- 327 с.

8. Чернов И.П. Физические свойства насыщенных водородом металлов и сплавов: специализированный физический практикум/ И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев, А.М. Лидер, Г.В. Гаранин; Томский политехнический университет.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.- 250 с.

УДК 66.088; 539.232

Сигаев А.П., Аверин И.А., Карманов А.А., Пронин И.А., Якушова Н.Д.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ЦЕНТРОВ АДСОРБЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ SiO_2- SNO_2

Наноструктурированные материалы на основе смешанных оксидов широко используются для разработки газовых сенсоров адсорбционного типа и по-прежнему вызывают большой интерес для фундаментальных и прикладных исследований. Управление газочувствительными свойствами можно осуществлять как варьированием исходных параметров процессов синтеза, так и внешними воздействиями - плазменной обработкой поверхности наноструктурированных материалов.

Разработаны методики получения наноструктурированных плёнок на основе SiO_2-SnO_2 золь-гель методом и обработки азотной плазмой поверхности синтезированных образцов на основе SiO_2-SnO_2. Исследованы кислотно-основных свойства поверхности газочувствительных наноструктурированных материалов индикаторным методом РЦА, определены типы и рассчитаны концентрации адсорбционных центров до и после воздействия плазмой.

Ключевые слова:

ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ, СМЕШАННЫЕ ОКСИДЫ, ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА, СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРОВ АДСОРБЦИИ

Введение

Наноструктурированные материалы на основе многокомпонентных оксидных систем уже широко используются для разработки газовых сенсоров адсорбционного типа, благодаря их высоким чувствительности к широкому спектру анализируемых газов, адсорбционной способности, малому значению времени отклика на изменение концентрации детектируемых газов в объёме.

Различают два направления усовершенствования характеристик данных газовых сенсоров. Первое – модернизация конструкции, заключающаяся в упрощении, удешевлении устройства с сохранением или улучшением выходных характеристик. Второе – наиболее перспективное из двух состоит в модификации свойств различных композиций материалов за счёт оптимизации существующих методик синтеза, введения дополнительных обработок [1] и исследование полученных материалов [2-3].

Несмотря на наличие большого количества исследований как фундаментального, так и прикладного характера [4-6], всё равно существуют темы, которые ещё недостаточно освещены. Исследования кислотно-основных свойств поверхности газочувствительных наноструктурированных материалов, а также плазменного воздействия на активность адсорбционных центров на их поверхности можно привести в качестве подобных примеров.

Основная часть

Экспериментальная часть работы заключается в анализе распределения центров адсорбции (РЦА) на поверхности наноструктурированных материалов на основе SiO_2-SnO_2 индикаторным методом, а также в определении концентрации адсорбционных центров различного типа до и после воздействия на них азотной плазмы.

Для получения наноструктурированных материалов выбрана золь-гель технология, позволяющая синтезировать иерархические структуры с фрактальным типом пространственной организации [7,8]. Тем более, это технологически простой и относительно дешевый способ, дающий возможность проводить контроль поверхности материала уже на ранней стадии его получения, что крайне удобно в условиях лабораторного исследования.

Для синтеза образцов, представляющих собой наноструктурированные тонкие плёнки на основе SiO_2-SnO_2, в рамках золь-гель метода [9] были задействованы следующие реактивы: тетраэтоксисилан, этиловый спирт, дистиллированная вода, соляная кислота в качестве катализатора, олово четырёххлористое пятиводное в качестве легирующего компонента. Изготовленные плёнкообразующие золи, созревавшие в течение 24 часов, были нанесены на предметные стекла размерами (75х25) мм^2 методом центрифугирования при скорости вращения столика 3000 об/мин и подвергнуты термическому отжигу при температуре 600°С в течение 60 минут в воздушной среде. Массовая доля SnO_2 в данной двухкомпонентной системе составляет 80%. Массовая доля допанта выбрана из условий образования проводящего кластера, пронизывающего весь объем наноструктуры и формирования ультратонкой кремнеземной матрицы с внедренным модификатором. Половина из полученных образцов отобрана для последующей обработки их поверхности азотной плазмой.

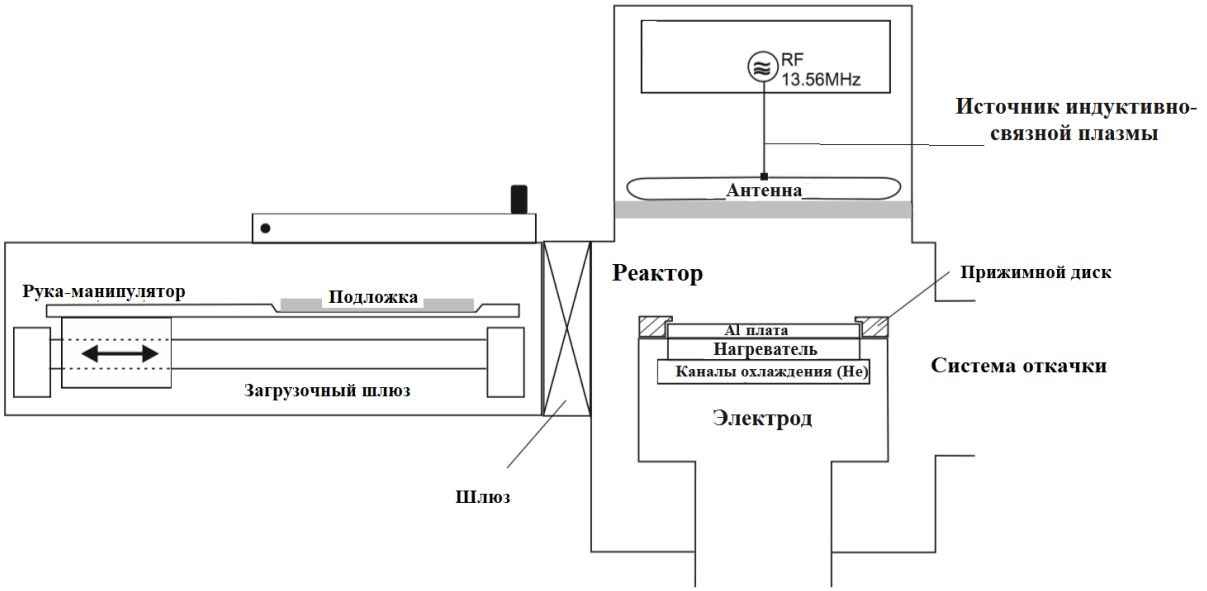


Рисунок 1 – Схема установки SI-500

Плазменная обработка образцов проводились на установке травления в индуктивно-связанной плазме SI-500 (SENTECH Instruments GmbH, Германия, установка схематично представлена на рисунке 1), составными элементами которой являются: высокочастотный источник индуктивно связной плазмы (ИСП/ICP), обеспечивающий образование плазмы и контроль её плотности, дополнительный высокочастотный источник (RF) для управления энергией и потоком ионов (контроля отрицательного напряжения смещения на электроде), реакционная камера и система откачки и напуска газов. Главное преимущество заключается в возможности раздельного управления плотностью плазмы и потоком ионов на поверхность обрабатываемой структуры, что немаловажно в рамках проводимого эксперимента.

При стандартном плазмохимическом процессе образец расположен на подложкодержателе в области химически активной плазмы высокой плотности (до 10^{12} $см^{-3}$), которая сгенерирована ионизированными частицами технологических газов при столкновении с движущимися по кругу под действием магнитного поля электронами. Магнитного поле, в свою очередь, индуцировано антенной, расположенной в верхней части реакционной камеры и принимающей мощность от высокочастотной генератора [10].

Плазмохимический процесс одновременно имеет два связанных между собой механизма взаимодействия с обрабатываемой поверхностью: химический и физический. В первом случае химически активные частицы (свободные атомы, радикалы) вступают в химическую реакцию с атомами, расположенными в приповерхностном слое обрабатываемого материала, и удаляют их путём синтеза летучих продуктов реакции. При физическом принципе основную роль в видоизменение поверхности образца играет бомбардировка её ионами. От выбора технологического газа, плотности плазмы, энергии ионов и рабочего давления зависит, какой механизм будет превалировать [11].

Поскольку основной задачей плазменного воздействия на полученные материалы является активация адсорбционных центров на их поверхности, то допускается воздействие плазмы только на приповерхностный слой плёнки.

При использовании низкотемпературной азотной плазмы основным процессом взаимодействия с обрабатываемой поверхностью является физический. Величина разности потенциалов между плазмой и обрабатываемой поверхностью способна обеспечить ионы энергией (от 20 до 100 эВ), которой недостаточно для эффективного физического распыления материала образца, однако вполне хватает для ослабления и разрушения химических связей между атомами, расположенными на поверхности обрабатываемого материала, тем самым активируя отдельные адсорбционные центры.

Таким образом, синтезированные золь-гель методом наноструктурированные материалы на основе SiO_2-SnO_2, подвергались воздействию низкоэнергетических ионов азотной плазмы в течение одной минуты при температуре плюс 15˚С.

Анализ распределения центров адсорбции на поверхности синтезированных образцов, в том числе, прошедших обработку в плазме, осуществлялся методом адсорбции кислотно-основных индикаторов [12]. Отобранные для опыта индикаторы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Используемые кислотно-основные индикаторы

№	Индикатор	pKa
1	Кристаллический фиолетовый	+0,8
2	Бриллиантовый зелёный	+1,3
3	Фуксин	+2,10
4	М-нитроанилин	+2,5
5	Метиловый оранжевый	+3,46
6	Бромфеноловый синий	+3,90
7	Хризодин	+5,50
8	Нитразиновый желтый	+6,50
9	п-Нитрофенол	+7,15
10	Бромтиловый синий	+7,20
11	Тропелин 000-1	+8,25
12	Нильский синий	+10,5

Для определения концентрации центров адсорбции определенной кислотной силы для каждого образца приготавливались по три раствора для соответствующего индикатора. С помощью спектрофотомера выполнялись измерения коэффициентов пропускания данных растворов для контроля их изменения из-за адсорбции индикатора на поверхности исследуемых образцов.

На основе полученных результатов проведена оценка концентрации адсорбционных центров для каждого значения pKa с использованием следующего уравнения [13]:

$$Q(pKa) = \frac{C_{ind} \cdot V_{ind}}{A_0} \cdot \left| \frac{|A_1 - A_0|}{S1} \pm \frac{|A_2 - A_0|}{S2} \right|, \quad (1)$$

где C_{ind}- концентрация индикатора в растворе, V_{ind}- объем раствора индикатора , S1 и S2 – площади исследуемых наноструктурированных плёнок, A_0, A_1, A_2 – соответствующие коэффициенты поглощения, вычисленные по результатам измерений коэффициентов пропускания на спектрофотометре. Результаты расчётов в виде гистограммы приведены на рисунке 2. Видно, что на поверхности исследуемых наноструктурированных плёнок на основе SiO_2-SnO_2 преобладают центры адсорбции с кислотной силой pKa, превышающей 7, то есть относящиеся к основным центрам бренстедовского типа.

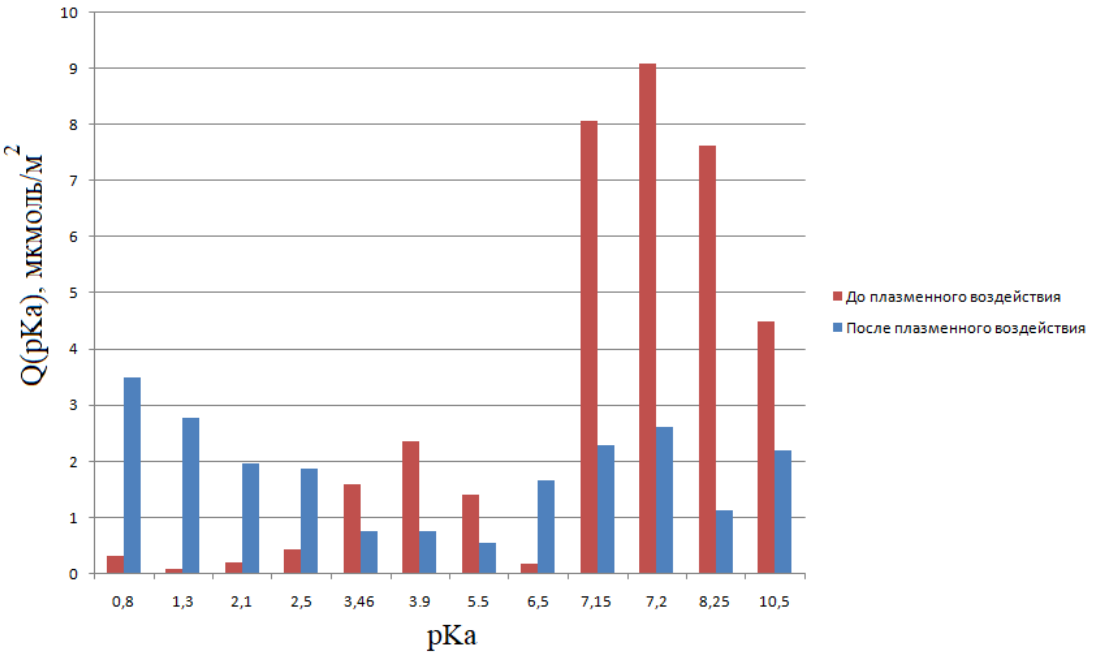


Рисунок 2 – Распределение центров адсорбции на поверхности наноструктурированных плёнок на основе SiO_2-SnO_2 до и после плазменного воздействия

Заключение

Исследования кислотно-основных свойств поверхности газочувствительных наноструктурированных материалов на основе SiO_2-SnO_2 индикаторным методом РЦА показал, что после проведенной плазменной обработки поверхности концентрация бренстедовских основных центров, доминирующих на поверхности наноструктурированного материала, заметно снизилась, а роль бренстедовских кислотных центров в конечных газочувствительных свойствах материалов, напротив, увеличилась. Наблюдается возрастание акцепторных свойств материала. Следует отметить, что общее количество адсорбционных центров на поверхности наноструктурированной плёнки снизилось из-за образовавшихся дефектов в ходе взаимодействия с бомбардирующими ионами, что говорит о необходимости корректировки режима плазменной обработки.

Практический интерес полученных результатов заключается в их дальнейшем применении при исследовании влияния внешних воздействий на активацию адсорбционных центров на поверхности газочувствительных наноструктурированных материалов с целью достижения высоких показателей чувствительности, стабильности и селективности к детектируемым газам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крастева Л.К., Димитров Д.Ц., Папазова К.И., Николаев Н.К., Пешкова Т.В., Мошников В.А., Грачева И.Е., Карпова С.С., Канева Н.В. Синтез и характеризация наноструктурированных слоёв оксида цинка для сенсорики // Физика и техника полупроводников, 2013. – Т.57. – Вып. 4. – С. 564-569.

2.Пронин И.А., Аверин И.А., Мошников В.А., Якушова Н.Д., Кузнецова М.В., Карманов А.А. Перколяционная модель газового сенсора на основе полупроводниковых оксидных наноматериалов с иерархической структурой пор // Нано- и микросистемная техника, 2014. – №9. – С. 15-19.

3. Averin I.A., Karmanov A.A., Moshnikov V.A., Pronin I.A., Igoshina S.E., Sigaev A.P., Terukov E.I. Correlations in Infrared spectra of nanostructures based on mixed oxides // Physics of the Solid State. 2015. Vol. 57(12). P. 2373-2381.

4. Пронин И.А., Якушова Н.Д., Сычев М.М., Комолов А.С., Мякин С.В., Карманов А.А., Аверин И.А., Мошников В.А. Эволюция кислотно-основных свойств поверхности порошков оксида цинка, полученных методом размола в аттриторе // Физика и химия стекла. – 2019. – Т. 45. – №3. – С. 274-287.

5. Sychov M.M., Myakin S.V., Nakanishi Y., Korsakov V.G., Vasiljeva I.V., Bakhmetjev V.V., Solovjeva O.V., Komarov E.V. Study of active surface centers in electroluminescent ZnS:Cu,Cl phosphors // Appl. Surf. Sci. – 2005. – V. 244. – №1-4. – P. 461-464.

6 Danilova M. N., Pylinina A. I., Platonov E. A., Yagodovskii V. D. Effect of the plasma-chemical treatment of ZnO and NiO on their activity in the dehydrogenation of isopropanol // Russian Journal of Physical Chemistry. – 2015. – V.89. – №8. – P.1339-1342.

7. Мошников В.А., Таиров Ю.М., Хамова Т.В., Шилова О.А. Золь-гель технология микро- и нанокомпозитов. – СПб. : Лань, 2013. – 304 с.

8. Сигаев А.П., Аверин И.А., Карманов А.А., Пронин И.А., Якушова Н.Д. Высокочувствительные элементы сенсоров в составе газочувствительных наноструктур и тонкопленочных электролюминесцентных излучателей // Труды Международного симпозиума: Надежность и качество, Пенза, 2018. – Т.2. – С.206-209.

9. Аверин И.А., Карманов А.А., Игошина С.Е., Сигаев А.П. Определение концентрации адсорбированных газов на поверхности двухкомпонентной системы SiO2-SnO2 методом ИК-спектроскопии // Труды Международного симпозиума: Надежность и качество, Пенза, 2015. – Т.2. – С.88–91

10.Madou M.J. Fundamentals of Microfabrication and Nanotechnology. Volume II: Manufacturing Techniques for Microfabrication and Nanotechnology. 3rd Edition. – Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2011. – 658 p.

11. Галперин В.А., Данилкин Е.В., Мочалов А.И. Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях: учебное пособие / под ред. С.П. Тимошенкова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 383 с.

12.Иконникова Л.Ф., Минакова Т.С., Нечипоренко А.П. Применение индикаторного метода для исследования поверхностей кислотности сульфита цинка // ЖПХ. – 1990. – №8. – С.1709-1714.

13.Непочиренко А.П. Донорно-акцепторные свойства поверхности твердофазных систем. Индикаторный метод. – СПб.: Лань, 2017. – 284 с.

УДК 538.971

Крупкин Е.И., Аверин И.А., Пронин И.А., Карманов А.А., Якушова Н.Д.
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ОТЖИГА НА УДЕЛЬНУЮ ПЛОЩАДЬ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЁНОК ОКСИДА ЦИНКА

Представлены результаты моделирования влияния времени высокотемпературного отжига на значение удельной площади наноструктурированных плёнок оксида цинка, полученных с помощью золь-гель-технологии. При построении модели учтены процессы, происходящие при отжиге плёнок, синтезированных из золя: образование объёмных фракталов Жульена из кластеров оксида цинка, последующее объединение фракталов в поверхностную иерархическую структуру, моделируемую фракталом Виттена-Сандера, и уход кластеров с поверхности подложки во фракталы. В результате моделирования была получена зависимость удельной площади плёнки оксида цинка от времени отжига, которая показывает, что при малых временах отжига происходит увеличение удельной площади с ростом времени отжига, а затем происходит уменьшение. Данный результат хорошо согласуется с экспериментальной зависимостью каталитической активности плёнок от времени отжига.

Ключевые слова:
ПЛЁНКИ ОКСИДА ЦИНКА, ЗОЛЬ-ГЕЛЬ-ТЕХНОЛОГИЯ, ВРЕМЯ ОТЖИГА, УДЕЛЬНАЯ ПЛОЩАДЬ, ФРАКТАЛ ЖУЛЬЕНА, ФРАКТАЛ ВИТТЕНА-САНДЕРА

Одним из современных направлений науки является синтез наноструктурированных материалов, исследование их свойств и теоретическое обоснование получаемых результатов. Особый интерес представляют наноструктуры на основе широкозонных металлооксидных полупроводников. Так, в настоящее время проводятся масштабные исследования свойств наноструктурированных плёнок оксида цинка ZnO, которые находят широкое применение в фотокатализаторах и газовых сенсорах [1, 2, 3].

Плёнки оксида цинка обладают уникальными физическими свойствами благодаря большой ширине запрещённой зоны, которая позволяет генерировать под действием света свободные носители заряда с большой энергией. Также наноструктуры ZnO обладают большей удельной площадью по сравнению с плёнками, синтезируемыми другими методами. Это способствует лучшему взаимодействию плёнки с веществом (загрязнителем или анализируемым газом) [2]. Важно отметить, что на поверхности наноструктурированных плёнок присутствует большое количество активных центров, способствующих адсорбции молекул и их взаимодействию с оксидом цинка.

Изготовление плёнок оксида цинка чаще всего осуществляют с помощью относительно дешёвой золь-гель-технологии, при которой формирование наноструктур происходит за счёт взаимодействия кластеров вещества, из которых состоит золь [2]. Отличительной особенностью данной технологии является возможность модификации структуры и физических свойств материала путём изменения определённых параметров (температура и время отжига, состав золя и т.д.). Например, в работе [1] изменение температуры отжига плёнок оксида цинка привело к изменениям адсорбционных свойств и функции кислотности Гамета поверхности плёнок, что обусловлено изменениями в концентрации активных центров. В статье [4] описано явление изменения фотокаталитических свойств плёнок при увеличении времени нагрева золя, которое приводит к росту размера кластеров оксида цинка и последующему увеличению удельной площади.

Большой интерес представляет зависимость каталитической активности плёнок оксида цинка от времени отжига. В ходе экспериментов было обнаружено, что рост времени отжига в диапазоне от 15 до 60 минут приводит к усилению фотокаталитических свойств, а увеличение времени отжига в диапазоне от 60 до 90 минут – к их ослаблению. Данное явление наглядно представлено на рисунке 1. Является очевидным тот факт, что изменение каталитической активности связано со значением удельной площади плёнки. Однако зависимость удельной площади от времени отжига является малоизученной. Поэтому важной задачей является объяснение зависимости свойств плёнок от времени отжига путём построения и обоснования модели образования наноструктур оксида цинка.

Целью данного исследования является разработка модели влияния времени отжига плёнок оксида цинка, синтезированных с помощью золь-гель-технологии, на их удельную площадь.

Для построения модели роста наноструктур ZnO из кластеров золя необходимо рассмотреть процессы, происходящие при отжиге плёнок из золя.

Первым процессом является образование укрупнённых частиц оксида цинка из мельчайших кластеров, образующихся в процессе синтеза золя. Средний размер исходных кластеров оксида цинка равен r = 50 нм [5].

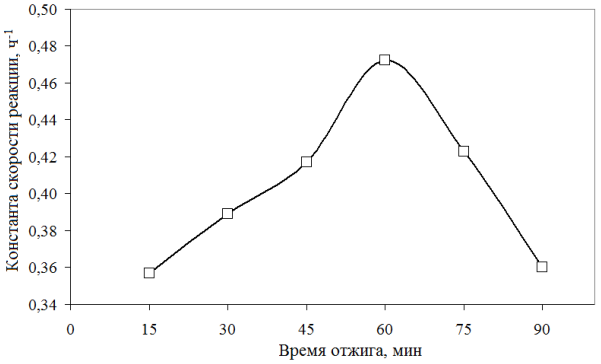


Рисунок 1 – Зависимость константы скорости фотодеградации метилоранжа от времени отжига плёнок ZnO (температура отжига – 500°С)

Для упрощения модели можно принять, что все кластеры имеют шарообразную форму. Кластеры оксида цинка взаимодействуют друг с другом за счёт Ван-дер-ваальсовых сил и притягиваются друг к другу, образуя крупные объёмные фракталы. Моделирование роста таких укрупнённых частиц можно произвести по модели фрактала Жульена, которая является простейшей моделью роста фракталов [6]. Согласно данной модели на первом уровне к одному шарообразному кластеру присоединяется 12 таких же кластеров [6]. Фрактальная размерность фрактала Жульена равна:

$$D = \frac{ln\,13}{ln\,3} \approx 2{,}33\,. \qquad (1)$$

Зависимость радиуса фрактала Жульена R от количества кластеров N описывается следующей функцией:

$$R = r \cdot N^{-D} \qquad (2)$$

Соответственно площадь фрактала Жульена можно найти по формуле для площади поверхности сферы:

$$S_{\text{ж}} = 4 \cdot \pi R^2 = 4 \cdot \pi r^2 \cdot N^{-2D}\,. \qquad (3)$$

Проведённые ранее исследования структуры плёнок оксида цинка с помощью растрового электронного микроскопа [5] показали, что максимальный размер образующихся фракталов из кластеров оксида цинка равен (3,5 – 4) мкм (данный размер соответствует максимальной толщине ветвей оксида цинка на плёнке). Исходя из этого, можно предположить, что существует физический предел количества частиц в кластере, который равен:

$$N_{\text{пр}} = \left(\frac{R_{max}}{r}()^D\right). \qquad (4)$$

Поэтому для описания временной зависимости роста числа частиц во фрактале больше всего подходит экспоненциальная функция:

$$N(t) = N_{\text{пр}} \cdot exp(-k_{\text{ж}} \cdot t), \qquad (5)$$

где $k_{\text{ж}}$ – константа скорости роста фракталов Жульена, которая в данной модели равна $k_{\text{ж}} = 8{,}3 \cdot 10^{-4}$ с$^{-1}$ (значение константы выбрано на основе экспериментальных данных о размере ветвей оксида цинка при разных временах отжига [5]). В итоге зависимость площади фрактала Жульена от времени описывается функцией:

$$S_{\text{ж}}(t) = 4\pi r^2 \cdot N_{\text{пр}}^{-2D} \cdot exp(2Dk_{\text{ж}} \cdot t)\,. \qquad (6)$$

Вторым процессом, который параллельно протекает при отжиге плёнок оксида цинка, является процесс образования поверхностного фрактала из укрупнённых частиц оксида цинка. Рост данного фрактала можно описать с помощью модели Виттена-Сандера [7], согласно которой к каждой частице присоединяется p таких же частиц, где p варьируется от 1 до 6 (при p = 6 фрактал переходит в поверхностный фрактал Жульена). Тогда зависимость числа частиц во фрактале от его радиуса описывается функцией

$$N_{\text{фр}}(t) = \left(\frac{R_{\text{вс}}}{R(t)}\right)^{\frac{ln(1+p(t))}{ln\,3}} = \left(\frac{R_{\text{вс}}}{r\cdot N_{\text{пр}}\cdot exp(-k_{\text{ж}}\cdot t)}\right)^{\frac{ln(1+p(t))}{ln\,3}}, \quad (7)$$

где $R_{\text{вс}}$ = 100 мкм – средний радиус поверхностного фрактала, $p(t)$ – зависимость числа присоединяемых фракталов от времени, которая описывается экспоненциальной функцией, показывающей изменение p от 1 до 6 (предел этой функции равен $p_{\max}$ = 6):

$$p(t) = 1 + 5\cdot(1 - exp(-k_{\text{вс}}t)), \quad (8)$$

где $k_{\text{вс}}$ = 3,3·10^{-4} с$^{-1}$ – константа, характеризующая скорость увеличения фрактальной размерности (значение подобрано на основе экспериментальной зависимости каталитической активности от времени отжига, приведённой на рисунке 1).

Площадь фрактала равна произведению числа укрупнённых частиц на площадь одного фрактала с учётом поправочных коэффициентов, учитывающих потерю эффективной площади при взаимодействиях фрактал-подложка (среднее значение $s_{\text{фп}}$ = 0,35) и фрактал-фрактал ($s_{\text{фф}}$ = 0,1) (наглядно потери эффективной площади показаны на рисунке 2).

Таким образом, временная зависимость площади фрактала Виттена – Сандера описывается следующим образом:

$$S_{\text{вс}}(t) = N_{\text{фр}}(t)\cdot S_{\text{ж}}(t)\cdot s_{\text{фп}}\cdot\left(1 - s_{\text{фф}}\cdot p(t)\right);$$

$$S_{\text{вс}}(t) = \left(\frac{R_{\text{вс}}}{r\cdot N_{\text{пр}}\cdot exp(-k_{\text{ж}}\cdot t)}\right)^{\frac{ln(1+p(t))}{ln\,3}} 4\pi r^2\cdot N_{\text{пр}}^{-2D}\cdot exp(2Dk_{\text{ж}}\cdot t)\cdot s_{\text{фп}}\cdot\left(1 - s_{\text{фф}}\cdot p(t)\right). \quad (9)$$

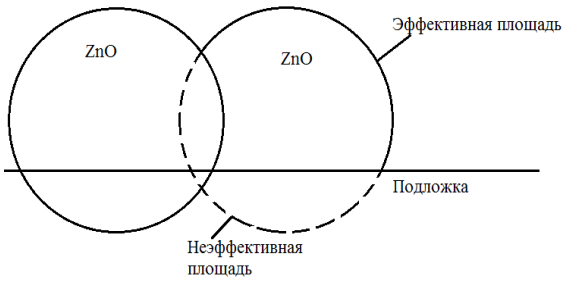


Рисунок 2 – Потери эффективной площади при взаимодействии фрактала Жульена с подложкой и другими частицами

Третьим фактором, влияющим на удельную площадь плёнок, является уменьшение площади участков оксида цинка, образованных не структурированными кластерами. На начальном этапе плёнка из золя состоит из несгруппированных кластеров, которые впоследствии объединяются в объёмные фракталы и затем образуют единый поверхностный фрактал. В процессе образования наноструктуры кластеры ZnO уходят с поверхности подложки, вследствие чего образуются участки подложки между ветвями фрактала, не содержащие оксида цинка. С увеличением времени отжига данные участки увеличиваются. Зависимость площади плёнки неструктурированного оксида цинка можно описать экспоненциальной зависимостью:

$$S_{\text{нестр}}(t) = \pi R_{\text{вс}}^2\cdot exp(-k_{\text{нестр}}t), \quad (10)$$

где $\pi R_{\text{вс}}^2$ – площадь круга, в котором расположен фрактал Виттена-Сандера;

$k_{\text{нестр}}$ = 4,2·10^{-5} с$^{-1}$ – константа скорости убыли площади неструктурированной плёнки оксида цинка.

Таким образом, зависимость удельной площади плёнки оксида цинка от времени отжига можно найти как отношение суммы площадей фрактала Виттена-Сандера и неструктурированной части к площади круга, в котором расположен фрактал:

$$S_{\text{уд}}(t) = \frac{S_{\text{вс}}(t) + S_{\text{нестр}}(t)}{\pi R_{\text{вс}}^2}, \quad (11)$$

где $S_{\text{вс}}(t)$ и $S_{\text{нестр}}(t)$ определяются выражениями (9) и (10) соответственно.

На основе функции (11) был построен график зависимости удельной площади наноструктурированной плёнки оксида цинка от времени отжига, представленный на рисунке 3. Анализ данного графика показывает, что в начале процесса отжига (t < 5 мин) происходит незначительное уменьшение удельной площади из-за уменьшения неструктурированной части при незначительном увеличении площади фрактала. После этого наблюдается участок роста удельной площади плёнки за счёт увеличения площади образующегося фрактала Виттена-Сандера и увеличения размеров фракталов Жульена, из которых состоит поверхностный фрактал. Однако при дальнейшем увеличении времени отжига (t > 60 мин) размер укрупнённых частиц оксида цинка практически перестаёт расти, но увеличивается размерность фрактала Виттена-Сандера, из-за чего увеличивается площадь участков соединений фракталов и уменьшается эффективная площадь плёнки.

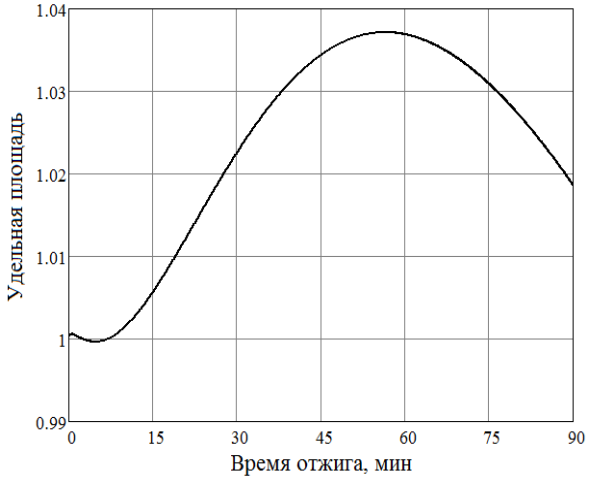


Рисунок 3 – Зависимость удельной площади плёнки оксида цинка от времени отжига

Для того чтобы убедиться в том, что построенная модель адекватно описывает процессы образования наноструктур на плёнках оксида цинка при отжиге, необходимо сопоставить смоделированную зависимость удельной площади плёнок от времени отжига (рисунок 3) и экспериментальную зависимость константы скорости фотодеградации метилоранжа при участии плёнок оксида цинка от времени их отжига (рисунок 1), поскольку каталитические свойства напрямую зависят от удельной площади плёнки. Сравнительный анализ этих графиков показывает, что каталитическая активность и удельная площадь плёнки, рассчитанная по построенной модели, растут при увеличении времени отжига от 15 до 60 минут и падают при увеличении времени отжига от 60 до 90 минут. То есть каталитическая активность и удельная площадь плёнки имеют одинаковый вид зависимости от времени отжига, что соответствует физическим представлениям о процессе катализа. Однако зависимость константы скорости фотодеградации метилоранжа от времени отжига является более резкой, поскольку каталитическая активность зависит не только от удельной площади плёнки, но и от степени кристалличности плёнки и от количества активных центров взаимодействия поверхности плёнки и молекул загрязнителя.

Таким образом, построена модель роста наноструктур оксида цинка в процессе отжига плёнок золя, которая позволяет построить зависимость удельной площади плёнок оксида цинка от времени их отжига. Построенная модель хорошо соотносится с экспериментальной зависимостью каталитической активности плёнок от времени отжига.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00924.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крупкин Е. И., Пронин И. А., Аверин И. А., Карманов А. А., Якушова Н. Д. Исследование влияния температуры отжига плёнок оксида цинка на распределение центров адсорбции // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2019 – Т.2. – С.7 – 9.
2. Крупкин Е. И., Аверин И. А., Пронин И. А., Карманов А. А., Якушова Н. Д. Получение наноструктурированных плёнок оксида цинка и исследование их фотокаталитических свойств // Нано- и микросистемная техника. – 2019. – Т. 21. № 1. – С. 23 – 34.
3. Якушова Н. Д., Пронин И. А., Сычёв М. М., Мараева Е. В., Мошников В. А., Карманов А. А., Аверин И. А., Зарывахина С. А. Исследование кислотно-основных свойств поверхности оксида цинка // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2018 – Т.2. – С.113 – 114.
4. Крупкин Е. И., Алимова Е. А. Исследование влияния времени нагрева золя на структуру и фотокаталитические свойства плёнок оксида цинка // Материалы XII Международной научно-технической конференции «Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации» («Шляндинские чтения – 2020»). – 2020. – С. 332 – 335.
5. Пронин И. А. Физико-химические особенности формирования иерархических наноструктур для сенсорных элементов / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – СПб.: 2015. – 183 с.
6. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир. – 1991. – 254 с.
7. Pronin I. A., Yakushova N. D., Karmanov A. A., Averin I. A., Antropova N. V., Mosnikov V. A. The Witten-Sander stochastic fractalapproximation as the basis for a model of sensory response of multicomponent oxide nanpmaterials to changes in environmental pressure // Journal of physics: Conference series. – 2019. – V. 1313 – P. 012045.

УДК 519.718: 519.21

Северцев[1] Н.А., Майстер[2] В.А., Юрков[3] Н.К.

[1]ФГУ «ФИЦ Информатика и Управление РАН» (ФИЦ ИУ РАН) (Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН), Москва, Россия

[2]ЧОУ ВО «Сургутский институт мировой экономики и бизнеса «ПЛАНЕТА»», Сургут, Россия

[3]ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

К ПРОБЛЕМЕ КЛАССИФИКАЦИИ УГРОЗ И ОПАСНОСТЕЙ ПРИ РАБОТЕ СЛОЖНОЙ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СИСТЕМЫ

Анализ происходящих за последнее время технологических аварий и катастроф показывает, что большинство из них происходят из-за сбоев в системе человек-машина, и обусловлена человеческим фактором, т.е. операторов, деятельность которых представляет потенциальную опасность аварий и катастроф. Отсюда следует, во-первых, необходимость обоснованных требований к отбору операторов, а, во-вторых, принятие превентивных мер по предотвращению предаварийных и аварийных ситуаций, а, в-третьих, необходима адекватная система обучения операторов.

Чтобы иметь подобную интеллектуальную систему подготовки кадров необходим механизм разработки моделей операторов «человеко-машинных» систем, на основе которых удается обеспечить профессиональную подготовку операторов, не допускающих действий, ведущих к появлению и дальнейшему развитию аварийных ситуаций.

Теоретическая основа к анализу безопасности дана в трудах Б. Паскаля, который в качестве доказательства существования объективных законов природы ссылался на аксиому причинности, согласно которой в природе течение явлений точно определено совокупностью факторов, оказывающих на них влияние. Критерием безопасности в технических приложениях принято условие непревышения, смысл которого можно представить следующим высказыванием: «если ни одна из компонент случайного вектора нагрузки не превышает соответствующего значения компонент случайного вектора сопротивляемости, то отказ не наступит». В символьной форме это имеет вид:

$$\hat{U}_{<m>} \le \hat{X}_{<m>}, \qquad (1)$$

где $\hat{X}_{<m>}$ - m-мерный случайный вектор сопротивляемости.

Неравенство (1) представляет собой случайное событие.

Имея критерий безотказности (1) дадим показатель R_l надежности сложной человеко-машинной системы как вероятность реализации условия (1) в физическом или мысленном эксперименте:

$$P(\hat{U}_{<m>} \le \hat{X}_{<m>}) = P\left[\cap_{r=1}^{m}(\hat{u}_r \le \hat{x}_r)\right], \quad [r = \overline{1,m}]. \qquad (2)$$

Выражение (2) представляет собой уравнение косвенного изменения показателя надежности. Иначе можно представить, что случайное время безотказной работы $\hat{t}$ объекта больше отрезка времени t, за который осуществляется реализация переменных, определяющих условия испытаний, т.е. компонент $\hat{U}_{<m>}$ и $\hat{X}_{<m>}$:

$$P(\hat{t} > t) = P\left(\hat{U}_{<m>} \le \hat{X}_{<m>}\right) = f\left(\hat{U}_{<m>}, \hat{X}_{<m>}, a, b, t, \dots\right), \qquad (3)$$

где a, b, t -параметры объекта и условий испытаний.

Из выражения (3) полагая известными функции распределения случайных векторов $\hat{U}_{<m>}$ и $\hat{X}_{<m>}$ можно получить показатель надежности в аналитической форме с помощью интеграла Стильтьеса [1]:

$$P\left(\hat{U}_{<m>} \le X_{<m>}\right) = \int_{-\infty}^{\infty(m)} \int_{-\infty}^{\infty} F_{\hat{U}_{<m>}}(X_{<m>}) dF_{<m>}(X_{<m>}), \qquad (4)$$

где

$$F_{\hat{X}_{<m>}}(X_{<m>}) = P\left[\prod_{r=1}^{m}(x_r \le \hat{x}_r)\right]$$

- функция распределения m-мерного случайного вектора $X_{<m>}$ $F_{\hat{U}_{<m>}}(X_{<m>})$

$$F_{\hat{U}_{<m>}}(X_{<m>}) = P\left[\prod_{r=1}^{m}(\hat{u}_r \le x_r)\right]$$

- функция распределения m-мерного случайного вектора $\hat{U}_{<m>}$ относительно вектора $\hat{X}_{<m>}$ $[r = \overline{1,\infty}]$, $(x: -\infty < x < \infty)$, $(u: -\infty < u < \infty)$.

Выражение (4) позволяет оценить математическое ожидание вероятности непревышения ни одной из компонент случайного вектора нагрузки $\hat{U}_{<m>}$ соответствующих компонент сопротивляемости $\hat{X}_{<m>}$. Компоненты векторов $\hat{U}_{<m>}$ и $\hat{X}_{<m>}$ представляют собой различные по физической природе воздействия внешней среды и свойства объекта, выбираемые из условия их некоррелированности и независимости.

Отсюда напрашивается формулировка двух принципов организации систем безопасности, которые в неявном виде сравнительно отлажены (запечатлены) в истории человечества как защита от опасности [1]:

- принцип локальности, заключающийся в создании условий нераспространения появившихся опасных тенденций и их ликвидация с условиями невозможности развития;

- принцип глобальности, который должен применяться (применяется) в случае нарушения принципа локальности, и состоит в создании широкой организации систем по недопущению условий прекращения функционирования первого принципа – локальности. Успех противодействия, т.е. защиты

распространившейся опасности зависит от масштабов предпринятых шагов с привлечением всего арсенала доступных средств. Разумеется, принцип локальности экономически более выгоден, однако его может оказаться недостаточно из-за опасности и специфики угрожающих явлений. Известно, что значимость связей со средой играет (оказывает) первостепенную роль на состояние системы и ее безопасное функционирование.

Особое значение взаимодействие этих систем со своими структурами приобретает при анализе и изучении механизма распространения угроз и защиты от них. При наличии корреляции этих систем (собственно системы и среды) серьезность последствий о нарушении качества работы одной системы или деструкции ее отдельных элементов зависит от принадлежности связей тому или иному уровню иерархии: чем выше уровень, тем больше оснований ожидать существенных трансформаций в функционировании другой системы. Если их нарушения не несут значительной энергетической мощности или они относятся к нижним стратам, то эффекты взаимодействии носят инерционный характер, они затянуты по времени. Однако для однозначного прогнозирования необходимо учитывать конкретную сложившуюся ситуацию [2].

В общем представлении рассмотрим природные и экологические опасности, которые не поддаются (планетарные процессы) и затруднительно поддаются (экологические опасности) формализованному описанию, и естественно защиту от них. Природные опасности планетарного масштаба имеют слишком много факторов случайного характера, которые оказываются взаимозависимыми и определяющими развитие природного явления. Очень много факторов случайного характера оказывается взаимосвязанными и определяющими развитие природного явления. Именно этим объясняется невозможность достоверного развития природного явления – достоверность прогноза, тектонических процессов мирового океана. Однако отсутствие адекватной математической модели не есть единственная причина, исключающая возможность обезопасить человечество от сил природы. Природа обладает могучим энергетическим потенциалом, а в распоряжении цивилизации просто нет источников энергии, способных заблокировать извержение вулканов, зарождение цунами, изменить направление ветра и пр. По этим причинам не имеется возможности использовать принцип локальности при построении систем безопасности, и общество вынуждено использовать принцип глобальности, причем в его пассивной форме. Например, создана система наблюдения за возникновением и развитием природных угроз для оповещения о них, заранее должны применяться меры по локализации ущерба в опасных ситуациях.

Таким образом, перспективы создания системы безопасности от природных катаклизмов заключается, во-первых, в разработке (продолжении) моделей, описывающих причинно-следственные связи угрожающих природных явлений. Во-вторых, необходимо и дальше развивать информационные системы с обязательным и широким использованием космических средств, которые позволят идентифицировать опасность и ликвидации последствий ущербов и катастроф.

Что касается экологических опасностей, то они имеют характер внезапных катастроф, или перманентного накопления угрожающих факторов [3]. Первые возникают из-за аварийных нарушений технологий потенциально опасных производств и проявляются как техногенный удар по среде обитания и в ней живущих. Системно исключать подобные угрозы можно путем усовершенствования технологий, определенных требований надзора и т.п. Система защиты строится по локальному принципу. Вялотекущие процессы обусловлены малым, но постоянным давлением на экосистему продуктов производства. Это связано с низким качеством производства. В ранг принципов защиты от опасностей можно использовать такой признак защитных мероприятий как деление средств борьбы с угрозами (опасностями) на пассивные и активные, являющиеся базовыми для построения систем управления безопасностью. Под пассивными способами защиты будем понимать совокупность мер по предотвращению действия на систему возмущений, способных привести к ее дестабилизации. Активные методы защиты предполагают применение системных мер обеспечения защиты. Пассивные методы заключаются в противодействии внешним возмущениям, действующим на систему со стороны среды и внутренним возмущающим отклонениям, угрожающим целостности системы.

Требование пассивной защиты производится еще на этапе создания системы, например, путем выбора ее параметров в точке, равноудаленной от границ области устойчивости работы системы. Они направлены на увеличение свойств защиты, достигнутых при проектировании системы или в ходе ее филогенеза или онтогенеза, т.е. развития как формы и индивидуальности в процессе. Существование системы, в общем и целом, основные направления пассивности защиты системы заключаются в высоком качестве ее изготовления, профессиональном управлении для выполнения предназначенных целей, стабилизации параметров надежного функционирования ее элементов. Последнее обеспечивается также путем местных отрицательных обратных связей вокруг наблюдаемых («подозрительных») элементов, что позволяет стабилизировать процессы в них [4].

Рассмотрим внутренние источники угроз и опасностей при работе сложной человеко-машинной системы. Напомним, что опасности – это совокупность условий и факторов, создающих опасность жизненно-важным интересам личности, общества и государства. Трансформирующие это обобщенное понятие применительно к функционированию сложной человеко-машинной системе (СЧМС) в различных средах, под угрозой следует понимать совокупные воздействия внутренних и внешних факторов, приводящих СЧМС к уменьшению ее безопасности. В этом случае, вместо итоговой (определенной) области в пространстве состояний СЧМС при ее управлении, необходимо иметь дело с несколькими областями состояний - по числу каналов проникновения угроз для СЧМС, при том, что эти области связаны функционально. Для построения изолирующих оперативных мер по недопущению реализации угроз в неустранимые для системы последствия целесообразно использовать (прогнозировать) информацию о входных воздействиях со стороны среды и отклонением параметров, устанавливаемых для системы. Это позволит проводить анализ не следствия (опасные изменения состояния СЧМС), а причины появления угрожающих состояний. Для сложных человеко-машинных систем типа подводный корабль, космический корабль, самолет специального назначения и им подобных следует проводить прогнозный анализ угроз и факторов для их безопасности прежде, чем начинать их эксплуатацию. Особенно это важно для подводных и космических СЧМС. Однако такой путь связан с некоторым усложнением как в алгоритмическом смысле, так и информационном – требуются сведения об угрозах существованию системы. Тем не менее, прогноз опасности и ее преодоления должен быть перед выходом (пуском) таких систем в длительное функционирование в опасных физических средах [5].

Рассмотрим некоторые (главные) источники угроз и факторы опасностей, воздействующих на СЧМС при ее эксплуатации.

Отметим, что источниками угроз СЧМС по физическим принципам являются внутренние источники, воспроизводимые работой энерготехнических, радиоэлектронных, осветительных и бытовых средств СЧМС, и внешние воспроизводимые средой эксплуатации [6].

В сложной человеко-машинной системе, на примере подводного корабля, внутренними источниками угроз являются аккумуляторные батареи, атомная энергетическая установка, двигатели внутреннего сгорания и др., которые при своей работе могут

выбрасывать в отсеки углекислый газ HCO_2, особенно это касается рассматриваемой машины (подводного корабля), находящегося в подводном положении.

а) мгновенный точечный источник угрозы,

б) стационарный непрерывный внутренний источник угроз СЧМС.

Мгновенный точечный источник угрозы может выбрасывать примесь ядовитого газа неограниченного потока, имеющего среднюю скорость и в направлении оси. Применим энтропийный подход, когда имеем в виду, что энтропия связана с вероятностью состояния исследуемой СЧМС, а ее возрастание – с переходом системы из менее вероятного в более вероятное состояние.

Напомним, что если непрерывной случайной величине отвечает плотность распределения вероятности, то, как известно из теории вероятностей, среднее значение произвольной функции определяет интеграл определенного вида. В дальнейшем при интегрировании процессов будем использовать дельта-функцию Дирака.

Количество вредной примеси можно представить в виде суммы двух слагаемых, первое из которых характеризует количество вредной примеси, обусловленное начальным распределением концентрации; а второе слагаемое представляет количество вредной примеси, которое выделяет опасный источник в момент за время, имеющей производительность единиц примеси на единицу объема за единицу времени.

Таким образом, если источник мгновенный, то его производительность в момент времени. Предполагаем, что эта функция известна, тогда значение средней концентрации опасной примеси может быть определено.

Стационарный непрерывный внутренний источник угроз СЧМС действует в точке в неограниченной среде. Заметим, что источник обладает некоторой производительностью опасной примеси. Количество примеси изучаемого источника истечений может быть представлена в виде налагающихся друг на друга выхлопов (определенных порций), которые имеют определенную среднюю скорость.

В случае, когда турбулентные скорости малы по сравнению со средней скоростью движения, можно пренебречь турбулентной диффузией в направлении средней скорости.

Следует выразить среднеквадратичное отклонение в виде функций, зависящих от расстояния, так как разности и взаимно связаны при каждом выбросе вредной смеси.

Реальный источник вредной примеси – выделяемый аккумуляторами водород (СЧМС – подводные лодки), четыре процента которого в воздухе возгораются от малейшей искры – неизбежен взрыв с трагическими последствиями. Кроме того, в отсеках подводной лодки каждый человек выделяет за сутки около одного килограмма углекислого газа. Реальный источник действует в точке его расположения. В области нахождения человека количество вредной примеси увеличивается, так как поверхность вокруг него непроницаемая.

Таким образом, увеличение примеси эквивалентно действию идентичного воображаемого источника расположенного в точке. Вклад от этого источника эквивалентен отражению примеси от поверхности большого воображаемого пространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Северцев, Н. А. Статистическая теория подобия в задачах безопасности и надежности динамических систем. Монография/Н.А.Северцев//– М.: Радиотехника, 2016. – 400 с.

2. Северцев, Н. А. Системный анализ и моделирование безопасности/Н.А. Северцев, В.К. Дедков//- М.: Высш. шк., 2006. – 462 с.

3. Северцев, Н. А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке/Н.А. Северцев//- М:. Высш. шк. – 1989. - 274 с.

4. Юрков, Н.К. К проблеме обеспечения глобальной безопасности/Н.К. Юрков//Труды международного симпозиума Надежность и качество. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2012. Том 1, - С. 6-8.

5. Юрков, Н.К. Машинный интеллект и обучение человека (Монография)/Н.К. Юрков//Пенза, ИИЦ ПензГУ, 2008, - 226 с.

6. Юрков, Н.К. К проблеме обеспечения безопасности сложных систем/Н.К.Юрков//Труды Международного симпозиума Надежность и качество. Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. – Том 1. – С. 104-106.

7. Оценка свойств живучести, надежности и безопасности простейших топологических структур/Н.Ж.Мусин, А.И.Годунов, Б.Ж.Куатов, Е.С.Каракулов, Н.К.Юрков// XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Сер. Технические науки. – Пенза: изд-во ПГТА, 2012. – Спецвыпуск № 01(01) – С. 150-157.

УДК 004.052

Ковтун[1] Л.И., Крюков[2] О.В., Саушев[1] А.В., Антоненко[1] С.И.

[1]ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова» Санкт-Петербург, Россия

[2]ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва, Россия

АНАЛИТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматриваются методологические аспекты аналитико-статистического подхода к оценке и прогнозированию состояния сложных технических систем. Основу методологии составляет квантильно-регрессионный анализ статистических данных измерений диагностических параметров объекта исследования для получения полной и достоверной информацию по текущему и прогнозируемому состоянию контролируемого оборудования. Рассмотрены два методических подхода к решению задачи. Первый из них предполагает использование квантильного регрессионного анализа перехода статистического процесса постоянно контролируемого параметра системы из стационарного режима в нестационарный режим с моделированием прогнозного процесса методом Монте-Карло. Второй подход основан на квантильно регрессионном анализе ограниченной выборки временных рядов измерений контролируемого параметра для упреждающего моделирования рисков методом машинного обучения. Сравнение двух подходов с использованием методов Монте-Карло на базе более полной (постоянно измеряемой) генеральной совокупности данных и машинного обучения, использующего ограниченную выборку (периодически измеряемых) данных, показало большую гибкость результатов численного моделирования Монте-Карло, оперирующего кусочно-линейными аппроксимациями квантильно-регрессионных функций. Соответствующая прогнозная модель обеспечивает более ранние временные оценки неблагоприятных событий по сравнению с более поздними оценками метода машинного обучения.

Ключевые слова:

СЛОЖНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ДИАГНОСТИКА, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, КВАНТИЛЬНЫЕ РЕГРЕССИИ

Введение. Новые подходы к математическому описанию процессов мониторинга, диагностики, прогнозирования технического состояния сложных технических систем, пригодные для управления их сервисным обслуживанием и ремонтами в процессе всего срока службы, связаны с определением показателей надежности и, прежде всего, безотказности, долговечности и ремонтопригодности [1]. Эти показатели принципиально могут быть получены с помощью методов прямых или косвенных измерений параметров системы [2]. При косвенных измерениях

показателей надежности технического объекта обычно используют оценку вероятности сохранения значений основных его технологических параметров в пределах допустимых значений как функций времени эксплуатации этого объекта. Показатели надежности, полученные по косвенным измерениям, позволяют оценить вероятности более массовых и разнообразных по физической природе неблагоприятных событий. Поэтому они обладают более совершенным диагностическим потенциалом. При этом обеспечивается своевременное получение более полной и достоверной информации о фактическом текущем техническом состоянии технического объекта вне зависимости от его расположения, например, электрооборудования удаленных судов и морских платформ с помощью современных информационно-коммуникационных технологий. Это позволяет заранее планировать сервисное обслуживание этого оборудования, повышать эффективность логистических операций и снижать непроизводственные издержки владельцев судов и морских платформ.

Основная часть. Актуальность рассматриваемой научной задачи подтверждается исследованиями мировой индустрии наукоемких технологий, предназначенной для управления процессами эксплуатации сложных организационно-технических систем на базе прогнозного моделирования их динамики во времени (*model-predictive control*) [3-9]. Научные аспекты решаемой задачи представлены, например, в публикациях по разработке виртуальных датчиков [10] и виртуальных наблюдателей [11], в динамически адаптируемых композициях алгоритмов прогнозирования [12], в адаптивных методах краткосрочного прогнозирования временных рядов [13], а также в стратегиях решения сложных проблем методами искусственного интеллекта [14]. Практическая значимость этого направления исследований применительно к судовому оборудованию, сформулирована в «Правилах классификации и постройки морских судов» Российского морского регистра судоходства в соответствии с рекомендациями международных классификационных обществ МАКО и ИМО. Здесь сформулировано требование к системе мониторинга технического состояния механической установки судна, которая «должна предусматривать фиксирование измеренных значений диагностических и технологических параметров, анализ тенденций их изменений, прогноз технического состояния объекта контроля. Прогноз состояния оборудования должен выполняться на базе предыстории изменения диагностических параметров с достаточным числом их измерений». Система мониторинга, совмещенная с системой централизованного контроля, должна содержать функции безразборных процедур диагностирования оборудования для проведения их обслуживания и ремонта по фактическому состоянию (condition based maintenance). В тоже время, прогноз неприемлемого снижения уровня технического состояния оборудования должен использоваться для своевременного планирования обслуживания и ремонта судов и морских платформ (time based maintenance).

Следует отметить наиболее совершенную программную разработку для ЭВМ американской корпорации General Electric «SmartSignal», которая решает задачу предиктивной диагностики оборудования, включая моделирование штатной его работы, прогнозирование отказов и идентификацию аварийных ситуаций на базе метода опорных векторов (support vectors machine) [15].

В работе рассматриваются методологические аспекты и теоретические разработки решения поставленной задачи на базе квантильно-регрессионного анализа статистических данных о параметрах технической системы. Такой подход позволяет получить достаточно полную и достоверную информацию о текущем и прогнозируемом состоянии системы.

Математическая статистика разделяет случайные процессы на стационарные и нестационарные виды. Случайный процесс называется стационарным, если все статистические и смешанные моменты инвариантны (независимы) во времени. Нестационарный случайный процесс характеризуется наличием тренда, который может быть линейным или иметь более сложную форму. Как правило, стохастическая природа надежности оборудования по мере ее старения проявляется в увеличении дисперсии (размаха) функций распределения значений его контролируемых параметров [16]. Это приводит к выходу контролируемого параметра системы за пределы нормированных допусков [23] и к все большему числу таких неблагоприятных случайных событий по мере выработки ее технического ресурса [16]. (Рис. 1).

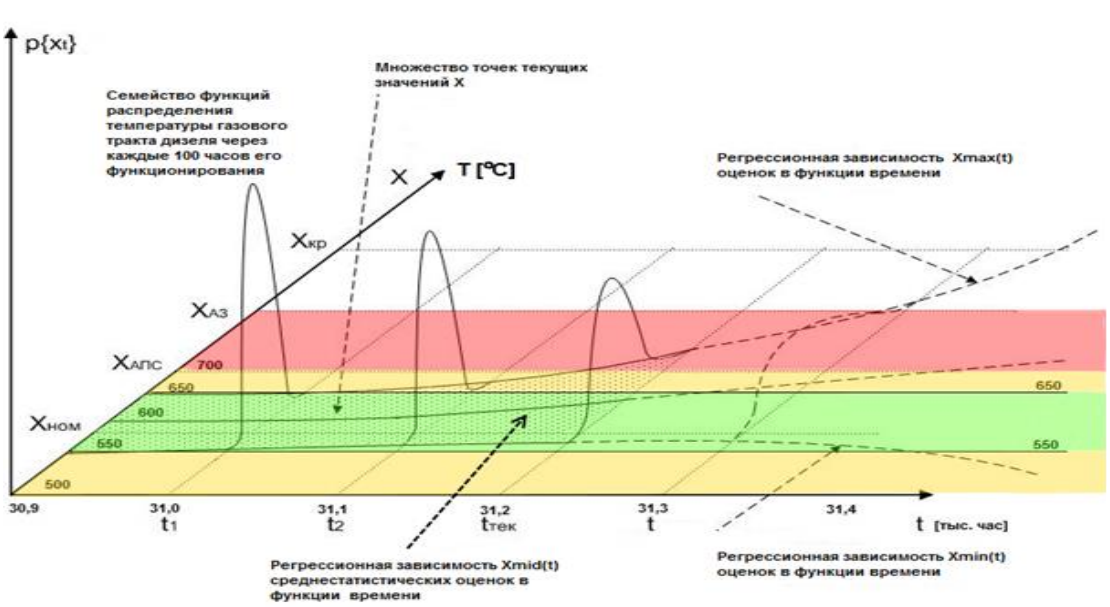


Рисунок 1 - Пример представления «цифровой истории» контролируемого параметра *Xti* в формате семейства функций распределения для анализа тенденций его изменения во времени (в ближнесрочном горизонте прогноза рисков до 1 тыс. часов)

На Рис. 1 изменение случайной величины контролируемого параметра *Xti* во времени демонстрирует переход от стационарного случайного процесса к нестационарному в ближнесрочном горизонте прогноза рисков до 1 тыс. часов.

Будем различать временные ряды квантилей порядка децилей от 90% до 10% для хранения всей предыстории изменения контролируемых параметров с достаточным числом их измерений. Для сверххран-

него обнаружения опасных тенденций изменения параметров, целесообразно дополнительно анализировать временные ряды квантилей порядка процентилей от 95%, 99% и 99,5% или, соответственно, 5%, 1% и 0,05%. Такой подход позволит оценить риски статистического смещения значений контролируемых параметров в область предельных недопустимых значений.

Как известно, квантиль – это значение аргумента интегральной функции распределения, которое исследуемая случайная величина не превышает с заданной вероятностью. Если вероятность задана в процентах, то квантиль называется процентилем. В теории вероятностей квантилем $CB(X)$ с функцией распределения $F(xp)$ называется аргумент, соответствующий заданному значению функции распределения, т.е. решение уравнения

$$P(X \le X_p) = F(X_p) = P, P \in [0;1] \qquad (1)$$

Таким образом, квантильный анализ случайных процессов порядка процентилей, т.е. редких и весьма редких событий, позволяет достаточно уверенно различать переход случайного процесса из режима стационарности в режим не стационарности. Это свидетельствует о высоких рисках повреждения оборудования, если скорость приближения их к критическим границам недопустимых областей [5, 17], например, уставкам предупредительной сигнализации, аварийной сигнализации и аварийной защиты, будет высоким. Эта особенность наблюдаемых процессов в соотношении малой вероятности и высоких рисков их последствий может быть использована для прогнозирования времени наступления соответствующих опасных ситуаций.

Для решения этой задачи необходимо дополнительно описать зависимость зарегистрированных квантилей порядка процентилей и децилей как функций времени выработанного технического ресурса соответствующего оборудования. Эта зависимость может быть представлена семейством регрессионных кусочно-линейных уравнений квантилей, вычисленных методом наименьших квадратов для каждого порядка децилей и процентилей в пределах интервала времени $T1$. Далее прогнозирование их значений в интервале времени $T2$ может быть экстраполировано при гипотезе сохранения скорости их изменения в соответствии с зарегистрированными уравнениями квантильных регрессий в интервале времени $T1$.

На Рис. 2 и Рис. 3 представлены результаты численного моделирования статистических процессов перехода контролируемого параметра из стационарного в нестационарный режим, спроецированные на плоскость измеряемого параметра и времени выработки технического ресурса оборудования [Xti и t]. Здесь сплошными линиями выделено семейство кусочно-линейных уравнений квантильных регрессий, зарегистрированных по результатам измерений в интервале времени $T1$. Прерывистыми линиями выделено семейство кусочно-линейных уравнений квантильных регрессий, являющихся прогнозом предстоящего развития событий на базе аналитических моделей и метода экстраполяций в интервале времени $T2$.

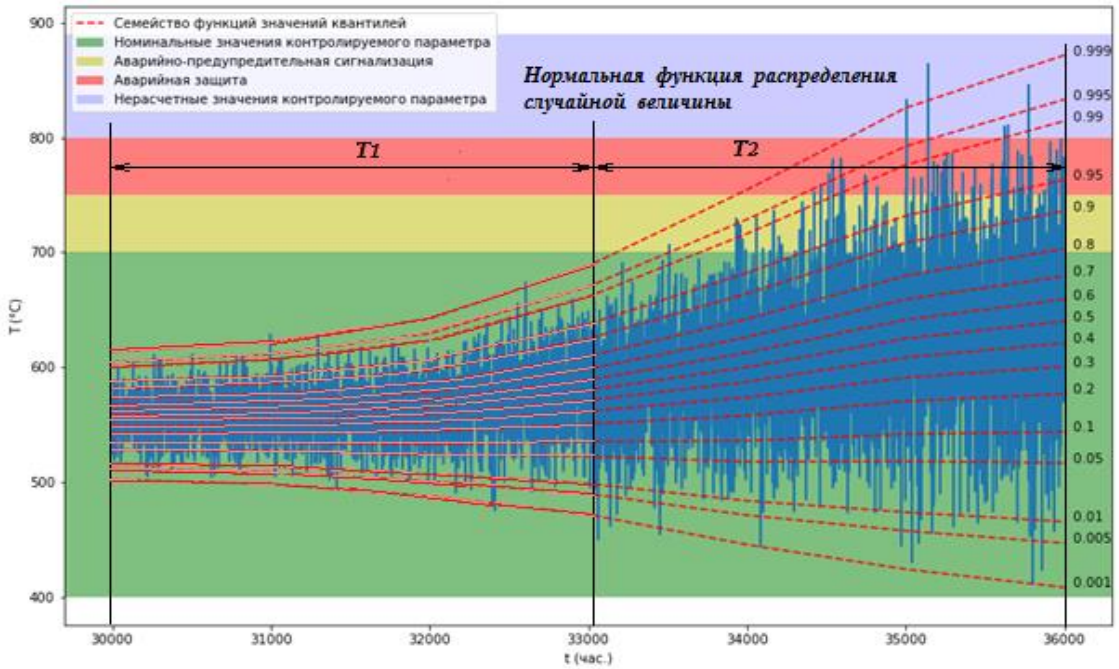


Рисунок 2 - Численное моделирование статистических процессов регистрации измеряемого параметра системы в интервале времени $T1$ и прогнозирования его значений в интервале времени $T2$ при условии сохранения скорости его изменения в соответствии с ранее зарегистрированными уравнениями квантильных регрессий (нормальная функция распределения случайной величины)

Аналитическую модель представляет семейство кусочно-линейных уравнений квантильных регрессий, которое дает упрощенное описание реальных статистических процессов.

В случаях, когда регламент сбора данных контролируемых параметров не позволяет организовать их на непрерывных измерениях или носит периодический характер с перерывом, тогда отсутствует возможность обработки полных данных и анализа генеральной совокупности измеряемого параметра. В этом случае необходимо обратиться к методам машинного обучения процедурам прогнозирования по зарегистрированной выборке временных рядов значений контролируемого параметра на этапе $T2$.

Машинное обучение позволяет на основе случайной выборки измерений сделать предположения относительно всей генеральной совокупности. При этом используется квантильно-регрессионный анализ данных, полученных из наблюдения случайной выборки в течение некоторой последовательности конечных промежутков времени на этапе $T1$. На Рис. 4, 5 представлены семейства квантильных регрессий, построенные на основе временных рядов значений контролируемого параметра в интервале от 32 до 34 тыс. часов. Далее на их основе выполнен прогноз значений соответствующих квантилей на последующие 2 тыс. часов. Квантильно-регрессионный анализ выборки временных рядов измерений методом машинного обучения, представленный на Рис. 4 и Рис. 5, выполнен с использованием дистрибутива Anaconda.

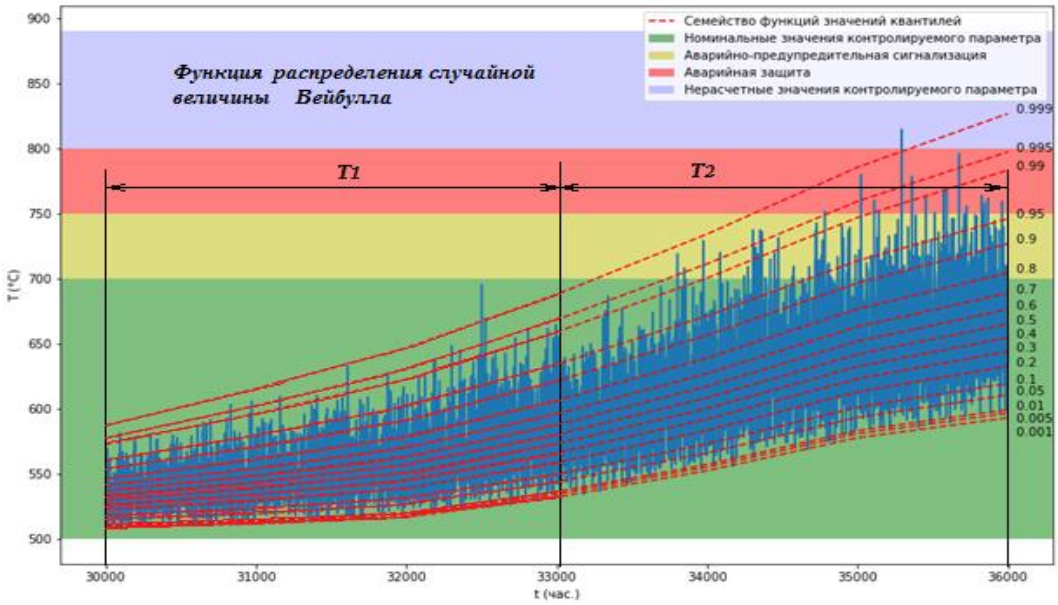


Рисунок 3 – Численное моделирование статистических процессов регистрации измеряемого параметра системы в интервале времени *T*1 и прогнозирование его значений в интервале времени *T*2 при условии сохранения скорости его изменения в соответствии с ранее зарегистрированными уравнениями квантильных регрессий (функция распределения случайной величины Вейбулла)

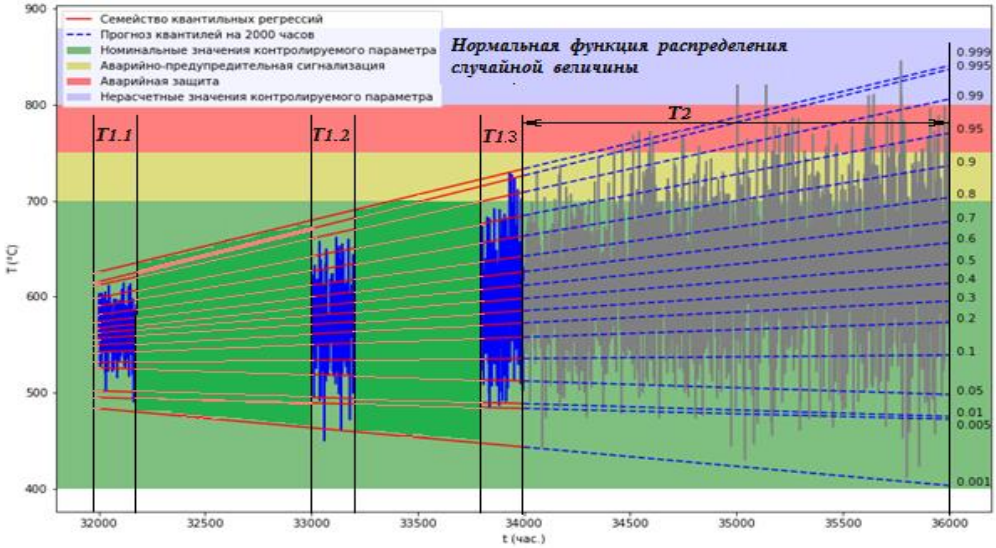


Рисунок 4 – Квантильно-регрессионный анализ ограниченной выборки временных рядов измеряемого параметра в интервале времени *T*1 и прогнозирование его значений в интервале времени *T*2 (при условии сохранения темпов его изменения в соответствии с ранее зарегистрированными уравнениями квантильных регрессий)

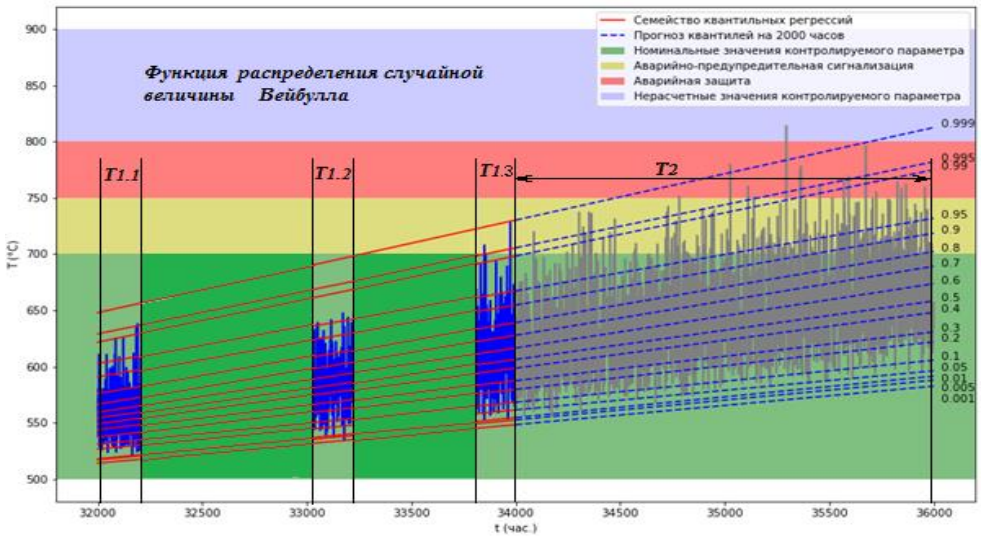


Рисунок 5 – Квантильно-регрессионный анализ ограниченной выборки временных рядов измеряемого параметра в интервале времени *T*1 и прогнозирование его значений в интервале времени *T*2 (при условии сохранения темпов его изменения в соответствии с зарегистрированными уравнениями квантильных регрессий)

Аналогичный подход к решению задачи прогнозирования описан, например, в работе [18]. Проблема определения «достаточности» количества и качества данных для машинного обучения в части выделения границ предметной области задач поясняется Рис. 6 на примере использования метода обратного распространения ошибки. Здесь линии вокруг имеющегося набора данных представляют функции, найденные алгоритмом обучения. Известно, что по завершении обучения в алгоритм, для оценки качества обучения, необходимо вводить новые входные данные. При этом функция f1 (Рис. 6) представляет довольно точную аппроксимацию, полученную методом наименьших квадратов. Дальнейшее обучение системы может привести к функции f2, которая выглядит как достаточно «хорошая» аппроксимация исследуемого набора данных. Вместе с тем, функция f2 недостаточно точно аппроксимирует заданные точки. Дальнейшее обучение может привести к функциям, которые более точно аппроксимируют данные, но дают «ужасные обобщения» для новых входных данных. Это явление называют переобучением (overtraining) сети. Одной из сильных сторон обучения с обратным распространением ошибки является то, что в предметных областях многих приложений оно дает эффективные обобщения, т.е. аппроксимации функций, которые приближают обучающие данные и корректно обрабатывают новые данные [14].

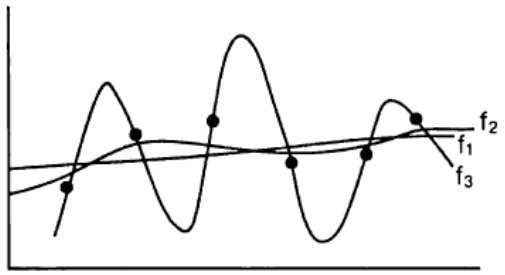


Рисунок 6 - Набор точек данных и аппроксимирующие их функции]

Функция потерь может быть представлена уравнением:

$$J_\tau(a,b) = \sum_{k=1}^{n}((\tau-1)[X_k < at_k + b] + \tau[X_k \geq at_k + \\ +b])\,(X_k - at_k - b), \qquad (2)$$

где $\tau \in (0,1)$.

Далее вычислим оценки параметров $\hat{a}$ и $\hat{b}$, при которых данная функция потерь достигает минимума

$$(\hat{a},\hat{b}) = \underset{a\in R,\, b\in R}{argmin} J_\tau(a,b). \qquad (3)$$

Таким образом, функцию условного квантиля τ можно определить линейным уравнением

$$Q_X(\tau|t) = \hat{a}t + \hat{b}. \qquad (4)$$

Данная модель впервые была представлена Кёнкером и Бассетом в 1978 году [19]. Доказательство того, что минимум функции $J_\tau(a,b)$ является наилучшей оценкой условного квантиля τ приведено в работе [8]. Для решения задачи нахождения минимума этой функции были разработаны различные методы оптимизации, например, специальная версия симплекс-метода и метод сглаживания [9]. В данной работе используется метод сглаживания.

Заключение. Рассмотренные теоретические предложения по решению научной задачи повышения надежности сложных технических систем особенно востребованы в продукции морской индустрии, функционирующей в удаленных районах мирового океана и в условиях жесткой природной среды арктической территории РФ. Обсуждаемые аналитико-статистические методы позволят получить более полную и достоверную информацию по текущему и прогнозируемому состоянию наукоемких технологий морской индустрии для повышения качества ее управления.

Сравнение двух подходов с использованием методов Монте-Карло на базе полной генеральной совокупности данных и машинного обучения, использующего ограниченную выборку данных, показало большую гибкость результатов численного моделирования на основе метода Монте-Карло, оперирующего кусочно-линейными аппроксимациями квантильно-регрессионных функций. Соответствующая прогнозная модель дает более ранние временные оценки неблагоприятных событий по сравнению с «запоздавшими» оценками метода машинного обучения.

В целом представленные методы имеют уровень технической готовности технологии УТГ-3 «аналитические и лабораторные исследования» с целью проверки основных компонентов новой технологии, которые еще не интегрированы в единую систему управления качеством, стоимостью и сроками сервисного обслуживания морского оборудования. Это положение соответствует действующему ГОСТ Р 56861-2016 «Уровни технологической готовности для проектов разработки технологий». Дальнейшее развитие исследований этого направления должно быть направлено на создание демонстрационного макета и пилотного проекта бортовой автоматизированной системы мониторинга технического состояния морского оборудования с учетом требований ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. «Менеджмент риска. Методы оценки риска» [20].

ЛИТЕРАТУРА

1. Саушев А.В. Показатели параметрической надежности при оптимизации электромеханических систем // А. В. Саушев // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» : в 2 т. Т. 2 – Пенза : ПГУ, 2019. – С. 60 – 62.

2. *Северцев, Н.А.* Метрологическое обеспечение безопасности сложных технических систем: Учеб. пособие / Н.А. Северцев, В.Н. Темнов — М.: КУРС: ИНФРА-М, 2014. — 352 с. — DOI: 10.12737/3470.

3. *Саушев А. В.* Структура процесса управления состоянием сложных электротехнических систем / А. В. Саушев // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 23 – 30.

4. *Юрков Н. К.* Риски отказов сложных технических систем / Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных технических систем. — 2014. — № 1(5). — С. 18-24.

5. *Саушев А. В.* Оценка состояния электротехнических систем на основе информации о границе области работоспособности // А. В. Саушев // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» : в 2 т. Т. 1 – Пенза : ПГУ, 2016. – С. 66 – 69.

6. *Серебряков А.В.* Универсальная система мониторинга электродвигателей ГПА / А. В. Серебряков, О. В. Крюков // Известия ВУЗов. Электромеханика. 2016. № 4 (546). С. 74-81.

7. *Крюков О.В.* Методология и средства нейро-нечеткого прогнозирования состояния электроприводных ГПА // Электротехника, 2012, №9. – С.52-57.

8. Koenker, R. Quantile regression / R. Koenker — New York: Cambridge University Press, 2005. DOI: 10.1017/CBO9780511754098.

9. Chen, C. Computational Issues for Quantile Regression / C. Chen, Y. Wei // Sankhya: The Indian Journal of Statistics. Special Issue on Quantile Regression and Related Methods.— 2005.— Vol. 67, part 2.— Pp. 399-417.

10. *Некрасов И. В.* Уточнение и интерполяция лабораторных измерений с помощью технологии виртуальных анализаторов / И. В. Некрасов, Д. В. Лежнин // Автоматизация в промышленности, М., 2018, №3 – Издательский дом «ИнфоАвтоматизация» – С. 31-34.

11. *Некрасов И. В.* Нейросетевое оценивание ненаблюдаемых процессов на примере зашлаковывание нефтехимического реактора / И. В. Некрасов, И. Ф. Жагфаров, А. Д. Кондратьев // Нефтегазохимия, 2017, №4 – Издательство «Обракадемнаука». – с. 32-36.

12. *Воронцов К. В.* Динамически адаптируемые композиции алгоритмов прогнозирования / К. В. Воронцов, Е. В. Егорова // Искусственный Интеллект, Донецк, 2006. №2. – с. 277–280.
13. *Лукашин Ю. П.* Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Ю. П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003 – 416 с.
14. *Джордж Ф. Люгер*. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. Четвертое издание 2003г. – 864 с.
15. *Некрасов И. В.* Технология искусственного интеллекта в задачах управления производством / Н. В. Некрасов, Д. В. Лежнин // «Rational Enterprise Management» #1-2/2019, с. 40 – 48.
16. *Ковтун Н. Л.* Имитационный статистический анализ параметров технологических процессов на судах для прогнозирования надежности техники / Н. Л. Ковтун // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 5 (39). — С. 215–224.
17. *Саушев А. В.* Области работоспособности электротехнических систем / А. В. Саушев. — СПб.: Политехника, 2013. — 412 с.
18. Gaglianone, W.P. Constructing Density Forecasts from Quantile Regressions / W.P. Gaglianone, L.R. Lima // Journal of Money, Credit and Banking. — 2012.—Vol. 44.— Pp. 1589–1607. DOI: 10.1111/j.1538-4616.2012.00545.x.
19. Koenker, R. Quantile regression / R. Koenker, G. Bassett, Jr // Econometrics. — 1978.—Vol. 46, no. 1.— Pp. 33–50.
20. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. — М.: Стандартиформ, 2012. — 70 с.

УДК 658.512

Лахменев А.С., Саушев А.В.

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова» Санкт-Петербург, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО КРИТЕРИЯМ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ЗАТРАТАМ

В последние десятилетия рост цен на энергию и повышение значимости сохранения экологии окружающей среды побуждают инженеров и ученых находить новые решения для снижения потребления энергии на производстве. Особенно это актуально в роботизированных и автоматических системах, в которых минимизация энергопотребления не считалась целью проектирования. Надлежащая конструкция и эксплуатация промышленных роботов и систем автоматизации предоставляют возможность для снижения энергопотребления в промышленности, например, путем замены более эффективными системами и оптимизации энергопотребления. В статье анализируется несколько подходов и технологий, которые были разработаны для повышения энергетических характеристик промышленных роботизированных и мехатронных систем.

Ключевые слова:
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ, ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ, ПЛАНИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ

Введение. Целью данной работы является обзор существующих методов и технологий повышения энергетических характеристик промышленных роботизированных и мехатронных систем.

Потребление энергии на транспортных и промышленных производственных объектах обусловлено работой и управлением электроприводами в автоматизированных производственных процессах. При увеличении количества операций, увеличивается потребление энергии. Таким образом, вопрос минимизации потребления энергии является актуальным [1].

В статье рассматриваются основные методы минимизации электрической энергии, посредством оптимизации траектории движения исполнительного органа рабочей машины.

Качество электропривода, как наиболее широко применяемой на практике электромеханической системы, оценивается по точности позиционирования, точности слежения, запасу устойчивости и помехоустойчивости. Рассмотрим показатели качества на примере оптимизации точности позиционирования [2].

Основная часть. Полная количественная оценка точности системы может быть произведена в результате рассмотрения ее работы в условиях совместного влияния управляющего и возмущающего воздействий. Кроме того, на точность следящего электропривода оказывают влияние: инструментальная погрешность датчика задания и датчика положения объекта, точность траектории движения рабочего инструмента промышленного робота.

Оптимизация траектории движения рабочего инструмента промышленного робота позволит снизить время выполнения технологической операции, вибрации и энергопотребление мехатронных и роботизированных систем [3, 4]. Важным аспектом этого подхода является применение параметров оптимизации без изменения или реорганизации какого-либо оборудования.

Траектория движения в робототехнических системах подразделяется на 2 группы: траектория «точка-точка» (point-to-point), и траектория «многоточечная» (multi-point). Их применение к различным роботизированным и мехатронным системам зависит от сложности, как кинематики, так и уровня детализации рассматриваемой динамической модели.

Методы оптимизации траектории движения «точка-точка», в свою очередь, могут подразделяться на обратный и прямой.

В обратном методе оптимизации составляется упрощенная математическая модель роботизированной системы. Траектория движения выражается в виде полиномиальной функции, после чего синтезируется с учетом содержания энергии в системе и минимизируется при оптимизации.

В прямом методе оптимизации, напротив, составляется полная математическая модель системы, не пренебрегая потерями мощности привода в механической и электрических частях, а также с учетом непропорциональной зависимости потерь привода от параметров движения. После чего, данная математическая модель используется для тестирования различных стратегий планирования движения и для оценки влияния различных параметров на потребление энергии.

Оба метода применяются к различным электромеханическим системам любой сложности. Однако прямой метод применяется только в системах с низким числом степеней свободы: в простых системах с одной степенью свободы (например, в системах с постоянной инерцией, таких как лифт) или систем с двумя степенями свободы (например, транспортные средства). Это происходит потому, что прямой метод требует большого количество вычислений. Обратный метод получил широкое применение в манипуляторах с двумя и более степенями свободы.

В обратном методе математическая модель упрощается, чтобы уменьшить вычислительные операции для расчета оптимальной траектории. Для построения математической модели используются кинематические и динамические параметры системы (например, длина, масса и инерция звеньев, передаточные числа, коэффициенты трения и т. д.), механические и электрические параметры (например, сопротивление обмотки двигателя, крутящий момент двигателя и постоянное напряжение).

Составим упрощенную математическую модель, используя обратный метод оптимизации. Запишем механическую модель системы:

$$\tau = J(\upsilon)\ddot{\upsilon} + H(\upsilon,\dot{\upsilon})\dot{\upsilon} + G(\upsilon)\upsilon,$$

где υ - линейно независимый вектор; τ - вектор входного управляющего момента; $J(\upsilon)$ - матрица инерции; H представляет собой матрицу, которая включает в себя элементы: вязкое трение, параметры кориолисовой и центробежной сил; G представляет собой матрицу, которая включает в себя, в качестве элементов, параметры гравитационного и кулоновского трения.

Запишем уравнения электрического равновесия на примере электродвигателей постоянного тока:

$$\begin{cases} e_j = R_j i_j + L_j \frac{di_j}{dt} + K_{e,j}\dot{\upsilon}_j, \\ \tau_j = K_{t,j} i_j \end{cases}$$

где e_j - напряжение источника питания; i_j - ток, протекающий в обмотке; R_j и L_j - сопротивление и индуктивность двигателя; $K_{t,j}$ - постоянная двигателя, а $K_{e,j}$ - постоянная скорости двигателя [5].

Вторым этапом обратного метода оптимизации является определение типа траектории и параметров, подлежащих оптимизации. Тип траектории формулируется с использованием либо полинома высокой степени, либо *B*-сплайна. Составим угловое смещение рабочего инструмента промышленного робота, используя полином высокой степени:

$$\upsilon(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + \ldots + a_n t^n,$$

где каждый коэффициент a_i (где i = 0, 1,..., n; n - степень полинома) является действительным числом при соблюдении неравенства $a_i \neq 0$. При траектории движения «точка-точка» сначала устанавливаются начальное и конечное положения, скорость и ускорение. Следовательно, для правильного расчета траектории необходимо определить полином как минимум пятой степени. Чтобы оптимизировать траекторию движения и получить более плавное движение, должен быть выбран полином со степенью выше определенного значения, т.е. выше пятой степени. Однако слишком большое увеличение степени полинома не приводит к заметному повышению точности оптимизации [6]. Составим уравнение углового смещения рабочего инструмента промышленного робота, используя *B*-сплайн:

$$\upsilon(t) \sum_{j=0}^{m} c_{i,j} N_{j,d}(t,k_i), \quad \forall i = 1,2,\ldots,n,$$

где $N_{j,d}(t,k_i)$ - базисные функции, а $c_{i,j}$ - контрольные точки траектории m + 1 [5].

Следующим этапом обратного метода оптимизации является определение целевой функции. В литературе данная функция имеет несколько формулировок:

минимальное усилие (то есть сумма квадратов крутящего момента) [7];

минимальная скорость крутящего момента (то есть сумма квадратов производного крутящего момента) [7];

минимальная электрическая энергия [7], выраженная как $\int_0^T e(t)i(t)dt$;

минимальная механическая энергия [8], выраженная как $\int_0^T \dot{\upsilon}(t)\tau(t)dt$;

минимум потерь в двигателе постоянного тока промышленного робота [8].

Для поиска оптимальной траектории используется широкий спектр алгоритмов оптимизации: алгоритмы градиентной оптимизации [5]; генетические алгоритмы с реальной кодировкой (RGA) [9]; алгоритм минимума Понтрягина (PMP) [10]; дискретное динамическое программирование (DDP) [7]; итеративное динамическое программирование (ДП) [6].

При прямом методе оптимизации построение электромеханической модели системы является более сложным процессом по сравнению с обратным методом оптимизации, поскольку учитываются нелинейности и вторичные потери. В табл. 1 приведена качественная категоризация потерь энергии пропорциональной скорости $\dot{\upsilon}$ и крутящему моменту τ [11].

Прямой метод включает сравнение различных стратегий планирования на основе некоторого показателя, связанного с потреблением энергии. Поскольку прямой метод является численным, он позволяет анализировать влияние каждого фактора на потребление энергии.

Подводя итог, важно отметить, что в обратном методе оптимизации с увеличением числа степеней полинома, траектория рабочего инструмента позволяет снизить потребление энергии. Однако после точки конвергенции, использование этого метода становится неэффективным и требуется использование прямого метода оптимизации.

Категоризация потерь энергии в электромеханической модели Таблица 1

	Тип потерь	Определение энергии	Параметр пропорциональности
Корпус двигателя	Кулоновское трение	$E_k(t) = \int_0^T f_c sign(\upsilon(t))\upsilon(t)dt$	$\sim\dot{\upsilon}$
	Вязкое демпфирование	$E_{vis}(t) = \int_0^T f_u \dot{\upsilon}(t)^2 dt$	$\sim\dot{\upsilon}^2$
Двигатель	Сопротивление	$E_R(t) = \int_0^T Ri(t)^2 dt$	$\sim\tau^2$
	Потери на гистерезис и вихревые токи	$E_{core}(t) = \int_0^T f_{core}\dot{\upsilon}(t)^2 dt$	$\sim\dot{\upsilon}^2$
	Помехи	$E_s(t) = \int_0^T f_s i(t)^2 dt$	$\sim\tau^2$
	Кулоновское трение	$E_k(t) = \int_0^T f_c sign(\upsilon(t))\upsilon(t)dt$	$\sim\dot{\upsilon}$
	Вязкое демпфирование	$E_{vis}(t) = \int_0^T f_u \dot{\upsilon}(t)^2 dt$	$\sim\dot{\upsilon}^2$
Инвертор	Сопротивление	$E_R(t) = \int_0^T Ri(t)^2 dt$	$\sim\tau^2$
	При переключении IGBT транзистора	$E_{sw} = const$	Const
	Программируемый логический контроллер	$E_{PLC} = const$	const

Заключение. В статье представлен обзор методов оптимизации по точности позиционирования следящего электропривода, и, поэтому, он является справочным материалом для существующих методов и технологий с целью повышения энергетических характеристик промышленных роботизированных и мехатронных систем. В статье сделан упор на универсальном подходе к оптимизации, когда идет расчет по прямому и обратному методу оптимизации.

В настоящее время в универсальном подходе наблюдается рост новых решений, в которых различные комбинации аппаратных и программных технологий составляют основу инновационных разработок. Такой подход к проектированию содержит

большой потенциал для снижения требуемой энергии или повышения производительности в мехатронных и промышленных роботизированных системах, а также для синтеза новых методов оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Саушев А.В.* Методы расчета электрических нагрузок для оптимизации процесса электроснабжения морских и речных портов / А. В. Саушев, О. М. Толокнова, В. А. Шошмин// Труды международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Т. 2 – Пенза: ПГУ, 2019. – С. 57 – 60.

2. Воронин С. Г. Электропривод летательных аппаратов: Учебно-методический комплекс. Offline версия 1.0. – Челябинск, 1995-2011. http://model.exponenta.ru/epivod/cntnts.htm

3. Gasparetto, A.; Boscariol, P.; Lanzutti, A.; Vidoni, R. Path planning and trajectory planning algorithms: A general overview. Mech. Mach. Sci. 2015, 29, 3–27.

4. *Колосков Д.В.* Структура единой базы данных радиоэлектронных компонентов / Д. В. Колосков // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» : в 2 т. Т. 1 – Пенза : ПГУ, 2018. – С. 293 – 296.

5. *Hansen, C.; Oltjen, J.; Meike, D.; Ortmaier, T.* Enhanced approach for energy-efficient trajectory generation of industrial robots. In Proceedings of the IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, Seoul, Korea, 20–24 August 2012; pp. 1–7.

6. *Field, G.; Stepanenko, Y.* Iterative dynamic programming: An approach to minimum energy trajectory planning for robotic manipulators. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, MN, USA, 22–28 April 1996; Volume 3, pp. 2755–2760.

7. *Wilson, D.; Robinett, R., III; Eisler, G.* Discrete dynamic programming for optimized path planning of flexible robots. In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Japan, 28 September–2 October 2004; Volume 3, pp. 2918–2923.

8. *Sergaki, E.; Stavrakakis, G.; Pouliezos, A.* Optimal robot speed trajectory by minimization of the actuator motor electromechanical losses. J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl. 2002, 33, 187–207.

9. *Hsu, Y.L.; Huang, M.S.; Fung, R.F.* Trajectory planning and control for precision positioning table driven by a PMSM. In Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Control and Information Processing, Harbin, China, 25–28 July 2011; pp. 26–31.

10. *Park, J.* Motion profile planning of repetitive point-to-point control for maximum energy conversion efficiency under acceleration conditions. Mechatronics 1996, 6, 649–663.

11. *Paryanto; Brossog, M.; Merhof, J.; Franke, J.* Mechatronic behavior analysis of a customized manufacturing cell. In Proceedings of the 7th World Conference on Mass Customization, Personalization, and Co-Creation (MCPC 2014), Aalborg, Denmark, 4–7 February 2014; Brunoe, T.D., Nielsen, K., Joergensen, K.A., Taps, S.B., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2014; pp. 389–399.

УДК 621.791.042.3

Глухов И.А., Сенкевич А.Ю.

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия

МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ СВАРНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ СВАРКЕ

Проанализированы с учетом экономической эффективности параметры, влияющие на качество процесса сварки. Предложен индукционный бесконтактный метод прокаливания сварной проволоки перед подачей в сварочный аппарат. Разработана мехатронная система, реализующая предложенный метод. Подбор компонентов, а также доработка типовой схемы индукционного нагревателя позволили увеличить мощность и расширить диапазон рабочих частот. Применение программируемого логического контроллера в составе мехатронной системы обеспечивает эффективность и автоматизацию процесса подготовки сварки.

Ключевые слова:

СВАРКА, ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА, ИНДУКЦИОННЫЙ МЕТОД, ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР

Сварка ответственный технический процесс, включающий в себя также этапы подготовки свариваемых изделий, устройств и расходных материалов (электродов, флюсов и сварной проволоки). Для порошковой проволоки важным параметром является нормальное содержание влаги во флюсе (не более 600 ppm), так как высокий уровень влаги в составе проволоки, возникающий при несоблюдении условий хранения и транспортировки, приводит к увеличению содержания водорода в шве металла. Это в свою очередь приводит к ухудшению процесса сварки и разбрызгиванию металла, а также к образованию внутренних и наружных пор в сварном шве. Такие дефекты негативно влияют на качество сварного шва, он становится хрупким, быстро окисляется и ржавеет, может содержать недопустимые скрытые дефекты, что негативно влияет на качество выполненной работы и может привести к серьёзным последствиям, особенно в ответственных конструкциях [1, 2].

Для уменьшения влажности сварочной порошковой проволоки используют метод прокаливания. Сварную проволоку помещают в специальные печи и устанавливают необходимые температурно-временные параметры [3]. К примеру время прокаливания порошковой проволоки СП-2 составляет 60-90 минут при температуре 150-200оС по ТУ 36-1830-74, а срок годности ее составляет 1 месяц [4].

Данный метод является стандартным, но в некоторых ситуациях бывает мало оправдан в связи с большим временем подготовки порошковой проволоки и малым сроком годности. Возникающие различного рода непредвиденные обстоятельства могут приводить к финансовым потерям предприятия в случае окончания срока годности прокаленной проволоки. В связи с этим предлагается индукционный метод прокаливания проволоки перед подачей в сварочное устройство.

Основной частью мехатронной системы, реализующей индукционный метод прокаливания, является устройство, осуществляющее бесконтактный нагрев электропроводящих материалов при пропускании тока большой силы и частоты и образующее мощное быстро пульсирующее магнитное поле [5]. Металлические предметы, находящиеся в магнитном контуре устройства, нагреваются. Индукционный нагреватель обладает высоким КПД, имеет небольшие габариты и позволяет производить нагрев металлов без подключения контактов, находящихся под напряжением, к токопроводящим металлическим материалам. Данное устройство сможет взаимодействовать с остальными устройствами мехатронной системы. Функциональная схема устройства индукционной прокалки сварной порошковой проволоки приведена на рис. 1.

На схеме отображены основные компоненты установки. Проволока в кассете устанавливается на размоточный стенд, после чего свободный конец продевается через подающие ролики и индуктор. Продетую проволоку необходимо протянуть при включенном индукторе, прокалив часть проволоки. Участок не прокаленной проволоки откусывается и уже прокаленная часть проволоки фиксируется в новой кассете или подаётся в сварочный аппарат.

Сварочные роботы оснащены устройством подачи проволоки, и в данном случае дополнительно устанавливать устройство подачи проволоки нецелесообразно. Однако если производить прокалку проволоки с последующей намоткой на новую кассету,

то возникает необходимость в установке устройства намотки проволоки. Подключать устройство намотки целесообразнее к кассете намотки. Использование устройства в составе роботизированного сварочного комплекса также обеспечивает автоматизацию процессов загрузки-выгрузки кассет и протягивания проволоки через катки и катушку индукционного нагревателя роботом манипулятором. После прокалки проволока поступает в сварочный робототизированный комплекс.

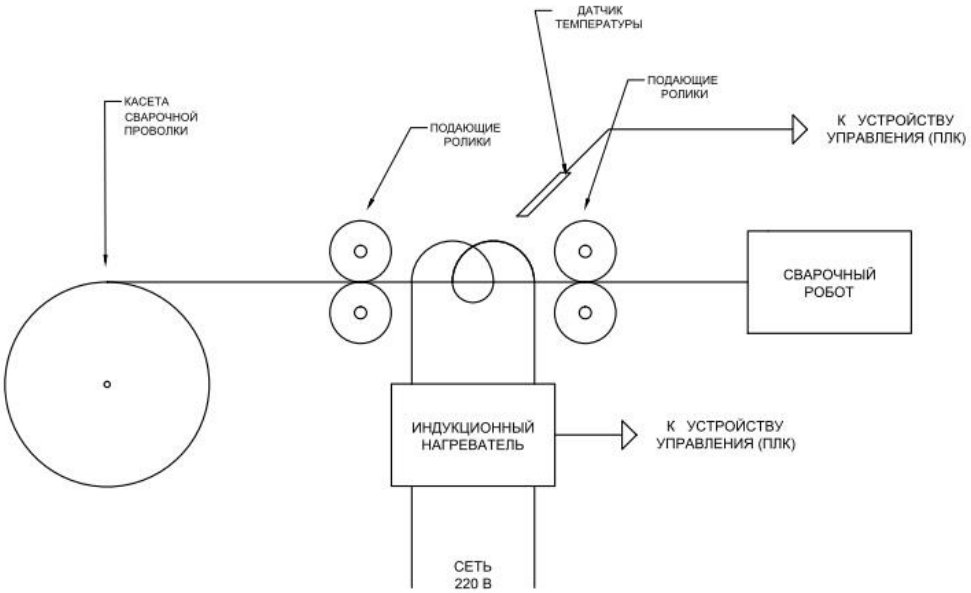


Рисунок 1 - Функциональная схема устройства индукционной прокалки сварной порошковой проволоки

При использовании высокой температуры прокалки дополнительно можно установить вентиляторные установки для охлаждения порошковой проволоки.

Установка легко может быть подключена к программируемому логическому контроллеру (ПЛК) для обеспечения автоматизированной работы системы. ПЛК позволит включать или выключать устройство, регулировать рабочую мощность индукционного нагревателя, схема которого представлена на рис. 2.

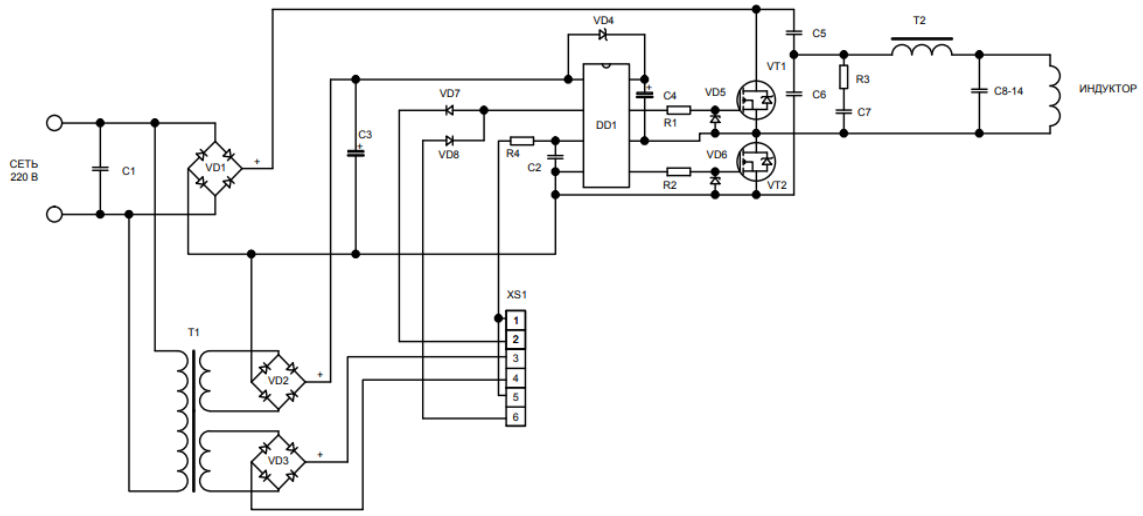


Рисунок 2 - Схема индукционного нагревателя

Используемая схема (рис. 2) является стандартной для индукционного нагревателя, но для решения поставленной задачи потребовалось увеличить мощность и расширить диапазон рабочих частот. С этой целью схема построена на базе микросхемы IR2153 – самотактируемого полумостового драйвера и силовых МОП – транзисторах IRF840 N-канального типа. Микросхема позволяет управлять током в 8 ампер с напряжением до 600 вольт (до 500 вольт с использованием IRF840 в виду технических характеристик транзисторов) [6].

Рабочая частота настраивается изменением сопротивления контактов 1-2 на клемме XS1 переменным резистором на 100 кОм или возможна установка цифрового потенциометра с последующим подключением к устройству управления (ПЛК).

Рабочая катушка ТВЧ состоит из 15 витков медной трубки диаметром 6 мм на оправе из 5 см. Рабочая частота устройства составляет 30кГц. Меняя количество витков и диаметр оправы, изменяется частота устройства [7]. Важно учитывать данный параметр. Допускается использование катушки с количеством витков от 10 и до 30 на оправе от 3 и до 10 см. Для предотвращения замыкания проволоки на катушку можно использовать термостойкие диэлектрики или настроить подающие ролики для избегания провисания проволоки. Дополнительно термостойкие вкладки позволят уменьшить нагрев катушки индукционного нагревателя.

Вместе с нагревом порошковой проволоки происходит и нагрев катушки. Для охлаждения необходимо прогонять воду внутри полости трубки. Протекание больших токов будет приводить к нагреву компонентов схемы. Производить охлаждения схемы необходимо воздушным обдувом, установив в корпус устройства кулер и подключив выводы

питания к линии 12 вольт. На силовые ключи дополнительно устанавливаются радиаторы для отвода тепла.

В состав устройства входят следующие компоненты, представленные в табл. 1. Таблица 1

Тип	Основной параметр	Дополнительный параметр	Количество
Диоды			
VD1-3	1N4007		3х4шт.
VD4	BA159		1
VD5-6	ZD16V		2
VD7-8	AAY32		2
VT1-2	IRF840		2
Микросхемы			
DD1	IR2153		1
DD2-3	CAT5121	100КОм	2
Конденсаторы			
C1	230нФ	250В	1
C2	330пФ		1
C3-4	100мкФ	25В	2
C5-6	470нФ	250В	2
C7	4,7нФ	1КВ	1
C8-14	330нФ	250В	6
Резисторы			
R1-2	15Ом	0,25Вт	2
R3	4,7Ом	4Вт	1
R4	10Ком	0,25Вт	1
Трансформатор			
T1	220В-12В-5D	1А-0,1А	1
Индуктивность			
TL1	1,375мкГн		1

Мощность регулируется подключением переменного резистора 100 кОм к клеммам 5-6 контакта XS1. Также как и в случае регулирования рабочей частоты возможно управление мощностью через цифровой потенциометр с последующим подключением к ПЛК.

Для регулирования частоты и мощности индукционного нагревателя контроллером ПЛК используется цифровой потенциометр CAT5121, обозначенный как DD2 и DD3 на рис. 3 [8].

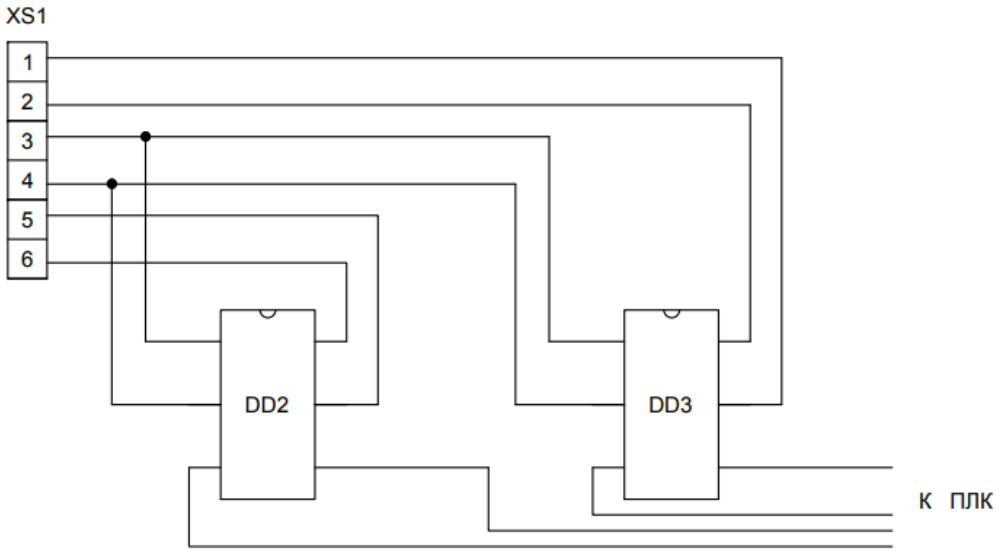


Рисунок 3 - Схема подключения цифрового потенциометра к ПЛК и индукционному нагревателю

Подключается CAT5121 к цифровым выходам ПЛК. Изменение сопротивления происходит подачей высокого или низкого уровня (логические «1» или «0») на 3 и 4 ножку микросхемы. При этом необходимо учитывать порядок подачи сигналов. Сопротивление будет понижаться в момент переключения сигналов U/D с 1 на 0 и повышаться при переключении U/D с 0 на 1. При этом уровень сигнала CS должен быть 0. Записывается режим повышения или понижения сопротивления сменой уровня сигнала CS с 1 на 0, при этом сопротивление будет повышаться, если в этот момент U/D равен 1 или понижаться, если U/D равен 0. Наглядный пример смены режимов представлен в табл. 2.

Таблица 2

CS	U/D	Сопротивление
0	1-0	Уменьшается
0	0-1	Возрастает
1-0	1	Возрастает
1-0	0	Уменьшается

Питание микросхем возможно от сети ПЛК с доработкой схемы или установкой модульных блоков питания на необходимые значения по напряжению и силе тока.

Для контроля температуры проволоки после выхода с индукционного нагревателя вблизи от катушки устанавливается датчик температуры с учётом наличия магнитных полей. Наиболее эффективно использование бесконтактных инфракрасных датчиков температуры PyroCouple или аналогичных, рассчитанных на работы с температурами до 500 градусов Цельсия с возможностью подключения к ПЛК [9]. Важно учитывать, что на блестящей поверхности проволоки температура может фиксироваться

неверно. По этой причине эффективнее замерять температуру контрольного объекта - проволоки, расположенной в катушке.

Получая данные о температуре объектов внутри катушки и своевременно внося изменения, можно добиться эффективной работы системы.

Разработанная мехатронная система позволяет осуществлять нагрев и прокаливание сварной порошковой проволоки, обеспечивая удаление влаги, непосредственно перед её использованием в сварке, а также осуществлять прокаливание катушек для создания необходимого задела на производстве и с учетом небольших сроков годности прокаленной проволоки.

Возможность регулировать рабочую частоту индуктора и его мощность как вручную, так и автоматически обеспечивают высокую эффективность и многофункциональность системы. Относительная простота схемы позволяет проводить монтаж радиокомпонентов без использования сложных технологий, обеспечивая ее надёжность.

Принцип бесконтактного индукционного нагрева сварной проволоки упрощает процесс конструктивной интеграции системы в сварочные роботизированные комплексы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таланин А.А., Мазанов А.М., Закалюкина Л.А., Шамионов М.С., Баннов В.Я. Обзор методов контроля качества сварных соединений // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - Пенза, 2017. - Т. 2. - С. 186-188.

2. Доросинский А.Ю., Недорезов В.Г. Контроль контактного сопротивления в процессе микросварки для отбраковки потенциально ненадежных изделий // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - Пенза, 2019. - Т. 2. - С. 106-107.

3. ВСН 349-87. Сварка стального оцинкованного профилированного настила для облегчения кровли. – Взамен ВСН 349-75, введ. 16.11.1987.

4. РД 26-17-049-85. Организация хранения, подготовки и контроля сварочных материалов. – Взамен РТМ 26-304-78, введ. 01.10.1985.

5. Кидин И.Н. Термическая обработка стали при индуктивном нагреве. – М.: Металлургиздат, 1950. – 317 с.

6. Справочное руководство. IR2153(D)(S)&(PbF). International Rectifier. 2.8.2006.

7. Сидоренко В.Д. Применение индуктивного нагрева в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1980. – 231 с.

8. Справочное руководство. CAT5120, CAT5121, CAT5122. ON Semiconductor. 2013.

9. Справочное руководство. PyroCouple, PyroEpsilon, PyroBus. Calex. 2016.

УДК 621.883 (088.8)

Шуваев В.Г., Крылова И.А.

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия

ЗАТЯЖКА РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО КРИТЕРИЮ ДОСТИЖЕНИЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

В статье рассматриваются вопросы нормируемой затяжки резьбовых соединений в процессе ультразвуковой сборки. Обсуждаются варианты затяжки по отклонению амплитудно- частотной характеристики от номинальной и по реакции системы на ударное воздействие.

Ключевые слова:

РЕЗЬБОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, ЗАТЯЖКА, УЛЬТРАЗВУК, ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, УДАР

Важнейшим параметром качества резьбового соединения является сила затяжки, создающая заданное контактное напряжение на стыке соединяемых деталей, которое должно обеспечить необходимую плотность и герметичность стыка при действии на соединение внешних сил. Погрешности изготовления приводят к отклонению геометрических параметров резьбовых поверхностей и поверхностей соединяемых деталей, отклонению от перпендикулярности опорного торца гайки, головки винта или болта и отклонению от параллельности торцов шайбы и т.д., а также коэффициентов трения в процессе сборки ведут к значительному разбросу силы затяжки резьбовых соединений.

Для контроля усилия затяжки резьбовых соединений в настоящее время находят применение различные методы [1]:

- по вращающему моменту, к недостаткам которого относятся значительная погрешность измерения, достигающая 38%;
- по углу поворота гайки с погрешностью от 20%. Другими недостатками этого метода являются, трудность определения начала отсчета угла поворота, зависимость от усилий, числа затяжек, длины болтов;
- по удлинению болта, погрешность 5-15%. Однако метод зависит от податливости деталей и обладает высокой трудоемкостью и себестоимостью.

Наиболее совершенным из применяемых в практике методов тарированной затяжки является метод, в соответствии с которым затяжка производится до достижения предела текучести материала болта, что позволяет добиваться максимального эффекта затяжки, наиболее полно используя прочностные свойства резьбового соединения [1, 2].

Одним из направлений повышения эффективности процессов сборки является применение ультразвуковых колебаний, принципиальной особенностью которых является то, что на обычную кинематическую схему процесса накладываются дополнительные колебания соединяемых деталей в направлении одной из координатных осей. Наложение вибраций сопровождается уменьшением нагрузок на технологическое оборудование и снижением энергетических затрат без ухудшения несущей способности соединения. Механизм воздействия ультразвука на силы трения заключается в изменении кинематических условий контактирования поверхностей, а также в изменении характера напряженного состояния металла в зоне трения [3].

Для получения значительных сил затяжки при сравнительно незначительной мощности привода, небольших размерах и массе гайковерта применяют устройства ударного действия, содержащие ударно-импульсный механизм, аккумулирующий кинетическую энергию, которая передается резьбовому соединению ударно-вращательными импульсами [4, 5].

Одним из решений проблемы обеспечения требуемого качества резьбовых соединений является разработка методов и средств контроля текущей информации, содержащейся в колебаниях, сопровождающих процесс ультразвуковой сборки. Получение информации о динамических характеристиках соединения непосредственно в процессе сборки позволяет уменьшить неопределённость в формировании показателей качества соединений, обеспечивает предупреждение о тенденциях изменения характеристик, дает возможность активного противодействия негативным изменениям в процессе затяжки и снижения рассеяния показателей точности соединений.

При достижении в процессе ультразвуковой сборки резьбового соединения предела текучести начинает проявляться нелинейность упругой характеристики механической колебательной системы, вызванная наличием пластичности, что приводит к искажению амплитудно-частотной характеристики и появлению скелетной кривой, выражающей связь

между частотой и амплитудой колебаний системы. В случае, когда прикладываемая сила (момент) велика, что приводит к появлению пластических деформаций крепежных элементов или собираемых деталей, система становится нелинейной, жесткость системы больше не является постоянной, частота начинает зависеть от амплитуды колебаний. В случае снижения коэффициента жесткости при достижении предела текучести система имеет так называемую мягкую характеристику, и скелетная кривая оказывается искривленной влево. При последовательном увеличении амплитуды силы возбуждения происходит уменьшение резонансной частоты колебаний и амплитудно-частотная характеристика имеет выраженный наклон в сторону меньших частот, а скелетная кривая соответствует мягкой характеристике жесткости (рис.1).

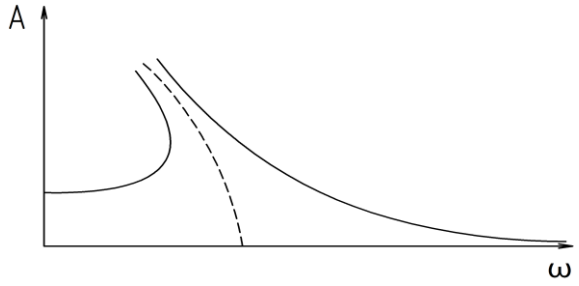


Рисунок 1 - Скелетная кривая механической системы с мягкой характеристикой жесткости

Если амплитуда синусоидального воздействия меняется, то пик резонансной кривой будет перемещаться по скелетной кривой, что и положено в основу предлагаемой технологии сборки и контроля резьбового соединения.

При вхождении соединения в пластическую зону изменение жесткости происходит в зависимости от амплитуды воздействия, и реакция на ударное воздействие будет проявляться в изменении периода затухающих колебаний. То есть, контролируя весовую функцию системы можно определить момент изменения жесткостных свойств системы и определять момент попадания в зону пластичности. Это положено в основу второго алгоритма определения попадания в зону пластичности.

На рис. 2 представлена схема разработанного устройства [6, 7], позволяющего совместить ультразвуковые и ударные воздействия при формировании резьбового соединения. Ударный механизм включает боек 1 и наковальню 2. При последовательных ударных взаимодействиях бойка и наковальни вращательные импульсы передаются через шпиндель 3 и ключ 4 на гайку 5, которая затягивается с необходимой силой. Под действием силы затяжки болт растягивается, и стягиваемые детали сжимаются. С помощью генератора электрических колебаний 22 в пьезокерамическом преобразователе 11 возбуждают ультразвуковые механические колебания и затем усиливают амплитуду колебаний концентратором 9. Пьезокерамический преобразователь зажат шпилькой 10 между концентратором и частотопонижающим элементом 12 (демпфером). Пьезокерамический преобразователь набран из дискретных шайб осевой поляризации, которые механически соединены последовательно, а электрически включены параллельно.

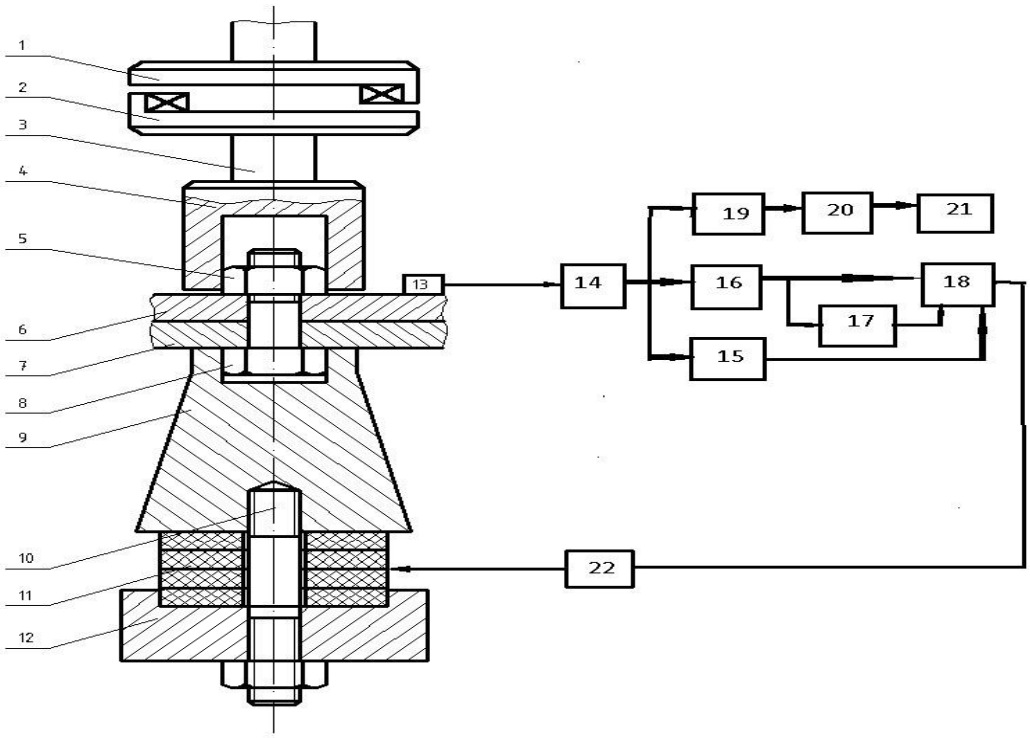


Рисунок 2 - Устройство для оценки затяжки резьбовых соединений

Колебания, прошедшие через контролируемое соединение, воспринимаются датчиком вибрации 13 и преобразуются в электрический сигнал, который после усиления в согласующем усилителе 14 поступает на входы частотомера 15 и измерителя 16 амплитуды вибрации. Сигнал с выхода измерителя амплитуды вибрации поступает в блок 17 определения резонанса и первый вход программного блока 18. В состав блока определения резонанса входит пиковый детектор, при помощи которого амплитуда вибрации запоминается в строгом соответствии «амплитуда-частота». Текущие значения амплитуды и частоты, поступающие на первый и третий входы программного блока, дают возможность построить амплитудно-частотную характеристику колебательной системы и определить текущее значение коэффициента динамичности.

При нанесении удара колебания воспринимаются датчиком вибрации 13 и через усилитель 14 поступают на фильтр нижних частот 19, а далее поступают через блок сравнения периодов 20 на индикатор 21. При приближении к зоне пластических деформаций периоды переходной характеристики начинают изменяться, что и положено в основу данного метода.

Разработанное ультразвуковое устройство выполнено на основе пакетного пьезокерамического преобразователя из четырех или шести шайб пьезокерамики типа ЦТС-19, причем четное количество

электрически параллельно собранных шайб позволяет иметь на наружных обкладках пакетного пьезокерамического преобразователя одинаковый потенциал, что исключает возможность короткого замыкания источника питания через элементы устройства и упрощает задачу электроизоляции обкладок пакетного пьезокерамического преобразователя от концентратора и корпуса.

Контроль степени затяжки, основанный на достижении силы затяжки в точке предела упругих деформаций материала резьбовых деталей, практически не зависит от трения, позволяет использовать крепежные детали меньшего диаметра и более низкого класса точности и обеспечивает минимальный разброс силы затяжки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусаков Б.В. Отечественные и зарубежные методы и средства тарированной затяжки резьбовых соединений//Сборка в машиностроении, приборостроении. № 9, 2003, С.12-24.

2. Повышение работоспособности резьбовых соединений путем применения ультразвука при обработке и сборке: монография / Б.Л. Штриков, В.В. Головкин, В.Г. Шуваев, И.В. Шуваев. – М.: Машиностроение, 2009. – 125 с.

3. Шуваев В.Г., Шуваев И.В. Контроль качества затяжки резьбовых соединений при ультразвуковой сборке по динамическим характеристикам// Международный симпозиум «Надежность и качество», Пенза,25-31 мая, 2013. 2 том. С.276-278.

4. Шуваев В.Г. Адаптивная система управления ультразвуковой запрессовкой с оценкой качества формируемых соединений// Международный симпозиум «Надежность и качество», Пенза,25-31 мая, 2013. 2 том. С.278-279.

5. Шуваев В. Г. Методология адаптивной ультразвуковой сборки резьбовых соединений гарантированного качества // Международный симпозиум «Надежность и качество», 2018. Пенза,21-31 мая, 2018. С.201-204.

6. Основы измерений. Датчики и электронные приборы: Учебное пособие/ К. Классен – 4-е изд. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 352 с. С.103-107.

7. Патент РФ на изобретение № 2502591. Способ ультразвуковой сборки резьбовых соединений / В.Г. Шуваев, И.В. Шуваев // 27.12.2013. Бюл. № 36.

УДК 004.021, 659.11, 004.42

Шлыков В.А., Гордеева О.А.

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Самара, Россия

ФОРМИРОВАНИЕ КОНТЕКСТНОЙ РЕКЛАМЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СЕТЕВОЙ АКТИВНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Статья посвящена проектированию и реализации автоматизированной системы, предназначенной для формирования рекламного предложения из имеющегося набора. Рекламное предложение составляется в соответствии с алгоритмами формирования контекстной рекламы. Для этого система анализирует сетевую активность пользователя – список посещенных пользователем веб-страниц, их тематику, ключевые слова текста, размещенного на веб-странице, затем формирует релевантное рекламное предложение. При этом сетевые пользователи объединяются в группы в соответствии с определенными параметрами – интересы, сферы деятельности, возрастная группа и т.д. Представлены характеристики контекстной рекламы, а также методика синтаксического и семантического анализа текста, применяемого для анализа веб-страницы. В статье также описывается проект и экранные формы разрабатываемой системы. Данная разработка предназначена для использования сетевыми рекламными агентствами, для оценки эффективности контекстной рекламы, а также в целях статистического анализа посещаемости веб-страниц.

Ключевые слова:

КОНТЕКСТНАЯ РЕКЛАМА, ВЕБ-СТРАНИЦА, СИНТАКСИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕКСТА, СЕМАНТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕКСТА, АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА

Введение. В современном мире среднестатистический человек проводит значительное время в сети Интернет, просматривая новости, персональные аккаунты, электронную почту, осуществляя иную так называемую сетевую активность, в том числе, выполняя поиск необходимой информации с помощью запросов в поисковых системах, посещая сайты, переходя по предложенным ссылкам или вводя адрес нужного сайта в адресную строку Интернет-браузера. Баннеры, встроенные в текст просматриваемой пользователем веб-страницы, отображаются при этом не случайным образом, а показываются пользователю на основе посещенных им до этого веб-страниц.

Контекстная реклама (КР) – тип Интернет-рекламы, в которой рекламное объявление показывается в соответствии с содержанием, контекстом интернет-страницы [1]. Каждый день люди ищут в интернете различные вещи – службы ремонта электроприборов, музыкальные инструменты, магазины одежды, технологию ремонта квартиры – КР предложит уместное решение в ответ.

Целевыми пользователями разрабатываемой автоматизированной системы формирования контекстной рекламы являются рекламные агентства, анализирующие активность пользователя сети и предлагающие соответствующую КР, оптимизирующие рекламную кампанию в соответствии с интересами потребителей Интернет-контента. Система реализует алгоритм формирования КР на основе синтаксического и семантического анализа текста веб-страниц, предварительно посещенных пользователями сети.

Классификация контекстной рекламы.

КР делится на три вида – текстовая, баннерная и видео.

Текстовая КР представляет собой текст с гиперссылкой на рекламируемый сайт. Выглядит невыгодно по сравнению с другими видами КР и отличается наименьшей эффективностью.

Баннерная КР – это форма с графическим контентом и возможной небольшой подписью, содержит в себе информацию, удовлетворяющую запросу пользователя.

Видео КР – видеоролик с рекламным обращением к пользователю, обычно размещается на сайтах с видеоконтентом.

Существует еще одна классификация КР – по типам. Одним из типов КР является реклама в поисковых системах, которые сразу после пользовательского запроса выдают в первых двух-трех результатах рекламные предложения, соответствующие запросу пользователя. Вторым типом КР является тематическая КР. Такая реклама размещается на сторонних сайтах, может содержать информацию схожую с содержанием сайта или отличающуюся от его тематики [2].

Две описанных классификации являются перекрестными. Разрабатываемая автоматизированная система содержит базу данных с рекламными предложениями различных типов и видов, при этом конкретное рекламное предложение формируется только на основе семантики предварительно посещенных страниц, без конкретизации типа КР.

Как и у любой рекламы, у КР есть показатели эффективности, такие, как отношение числа кликов по объявлению к числу его показов, средняя выручка в расчете на одного абонента, коэффициент возврата инвестиций, и др.

Анализ активности пользователя в сети.

Рекламное предложение формируется системой из базы данных на основе анализа тех веб-страниц,

которые предварительно были просмотрены пользователем сети. Система проводит последовательно синтаксический разбор текстового содержимого страницы, а потом его семантический анализ, результатом которого является набор ключевых слов, характеризующих содержание текста страницы. Затем система сопоставляет полученные ключевые слова с категорией рекламных предложений в базе данных, и формирует релевантное рекламное предложение пользователю сети.

Сначала система проводит парсинг текста веб-страницы, отбрасывая метасимволы, разметочные теги, специальные обозначения. В результате будет получен набор слов, составляющий суть контента страницы. Затем этот полученный набор слов приводится к единообразному виду.

Существует два наиболее распространенных способа выделения основы слова – стэмминг и лемматизация. В разрабатываемой системе применяется второй метод.

Лемматизация – это процесс приведения слова к так называемой, лемме. Лемма –первоначальная словарная форма слова. Для разных частей речи формат леммы различен, из-за особенности этой самой части речи:

существительное – именительный падеж, единственное число;

глагол – неопределенная форма (инфинитив);

прилагательное – именительный падеж, мужской род, единственное число [3].

Общий алгоритм лемматизации выглядит следующим образом:

Поиск суффикса, переход к шагу 2.

Поиск правила удаления или замены суффикса на нормализованный, переход к шагу 3 при нахождении правила, конец работы алгоритма при отсутствии правила, вывод слова.

Выполнение правила, вывод слова, конец работы алгоритма.

С помощью описанного процесса система получает набор ключевых слов для текстового контента страницы, посещенной пользователем. Затем пользователю подбирается рекламное предложение, соответствующее сформированному набору ключевых слов. Рекламные предложения каталогизированы и хранятся в базе данных, каждому каталогу соответствует свой набор ключевых слов, с которым и соотносятся ключевые слова посещенной страницы. Таким образом, для конкретного сетевого пользователя подбирается индивидуальное предложение КР.

Для оптимизации и таргетирования предложений КР с целью проведения рекламных компаний, а также подсчетов статистики посещений и анализа контингента, система предполагает объединение пользователей сети в целевые группы (аудитории) по общим сферам деятельности, интересам, возрастной группы и т.д. [4]. Для оценки работоспособности системы при группировании пользователей в тестовом режиме группу (аудиторию) пользователю задается принадлежность аудитории администратором системы. В дальнейшем система будет относить пользователя к определенной группе автоматически, с учетом результатов анализа его предварительной сетевой активности. Предполагается, что система будет собирать статистику посещений пользователя и сохранять её показатели для аудитории, к которой он относится, и на основе интегральных данных аудитории будет формировать рекламное предложение. При этом, для оценки эффективности работы системы, пользователь будет оценивать каждое, выданное ему системой, рекламное предложение по показателю релевантности его сетевой активности. На данном этапе пользователь просто указывает, релевантно ли рекламное предложение или нет.

Проектирование и реализация автоматизированной системы.

Разрабатываемая автоматизированная система имеет трехуровневую архитектуру, ее структурная схема представлена на рисунке 1.

Сервер БД состоит из подсистемы взаимодействия с сервером приложений, которая отвечает за корректную интерпретацию и выполнение команд с сервера приложения к базе данных, также на сервере БД размещена сама база данных системы.

Сервер приложения состоит из следующих подсистем:

- подсистема взаимодействия с БД, которая отвечает за формирование и отправку запросов к базе данных;
- подсистема взаимодействия с клиентом, которая отвечает за получение запросов клиента и распределение их по соответствующим подсистемам, и за обратную связь с клиентом;
- подсистема авторизации, которая контролирует проверку данных учетных записей авторизующихся пользователей системы;
- подсистема сбора информации об активности пользователя, которая получает адреса веб-страниц из истории браузера, считывает весь текст с указанных веб-страниц и передает следующей подсистеме;
- подсистема анализа активности пользователя, которая преобразует текст, полученный от предыдущей подсистемы, в набор ключевых слов с помощью метода лемматизации. Полученный набор которые затем передается следующей подсистеме;
- подсистема подбора рекламного предложения, которая рассчитывает, какое рекламное предложение из какой категории наилучшим образом соответствует набору ключевых слов, полученному от предыдущей подсистемы;
- подсистема генерации интерфейса отвечает за отправку подсистеме взаимодействия с пользователем команды на формирование пользовательского интерфейса, соответствующего сформированному рекламному предложению;
- подсистема анализа результатов работы приложения служит для сбора статистики и анализа результатов предыдущих запусков системы.

Клиент состоит из следующих подсистем:

- подсистема взаимодействия с сервером, которая отвечает за отправку запросов на сервер, принятию и правильной интерпретации ответов с сервера;
- подсистема визуализации, которая отвечает за отрисовку графики в пользовательском интерфейсе;
- справочная подсистема, которая предназначена для работы со вспомогательной информацией для пользователя;
- подсистема ввода/вывода, которая отвечает за взаимодействие с пользователем.

Диаграмма вариантов использования разрабатываемой системы для пользователя представлена на рисунке 2. После загрузки приложения он может авторизоваться, посмотреть справочную информацию и получить рекламное предложение на основе своей активности в сети. В процессе авторизации предусмотрен процесс регистрации нового пользователя в системе. При получении рекламного предложения пользователь может изменить параметры анализа системы и должен оценить рекламное предложение после его выдачи.

На рисунке 3 представлена диаграмма вариантов использования для администратора, который кроме всех доступных пользователю действий может также работать с базой данных системы.

Стартовой экранной формой разрабатываемой системы является форма авторизации, которая представлена на рисунке 5а. Для каждого поля формы существуют необходимые соответствия, которые должны выполняться, например они не должны быть пустыми.

После успешного прохождения авторизации пользователь попадает в форму работы пользователя, которая представлена на рисунке 5б. Система считывает адреса веб-страниц из истории браузера, на текущем этапе анализируется 1 или 2 страницы. На рисунке 5в представлен результат работы системы и сформированное рекламное предложение после посещения пользователем веб-страницу «Красный гид Мишлен» (URL : https://ru.wikipedia.org/wiki/Красный_гид_«Мишлен»). На рисунке 5г представлена форма работы

администратора, на которой он дополнительно может работать с базой данных системы, в частности, добавлять и удалять рекламные предложения, редактировать категории рекламных предложений и соответствующие им ключевые слова.

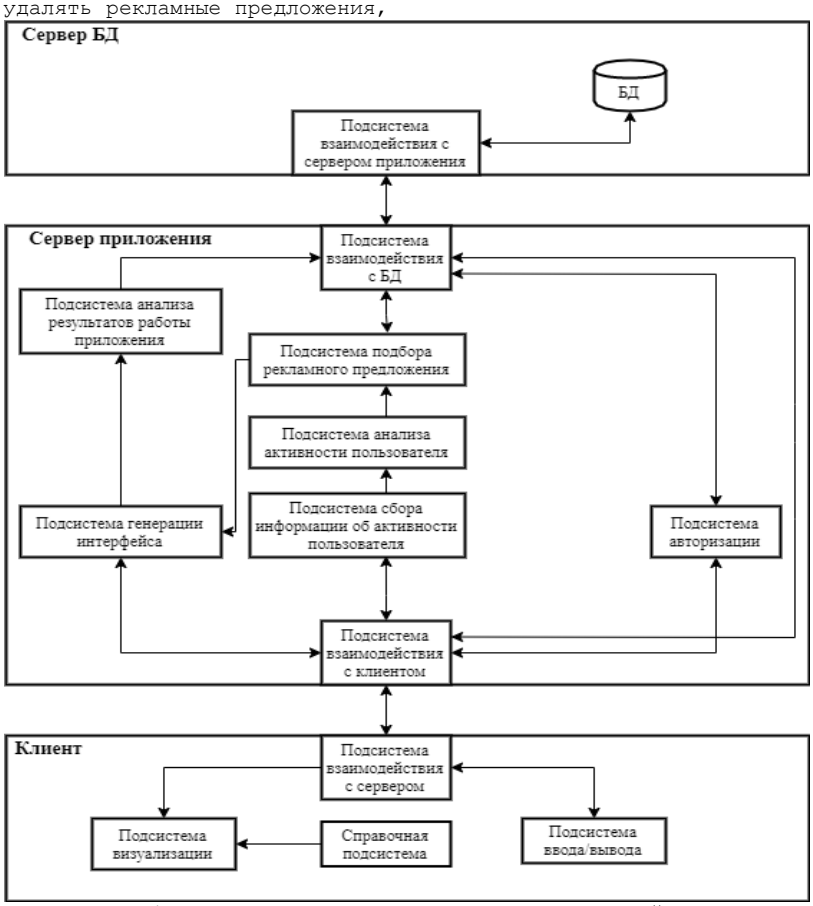


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированной системы

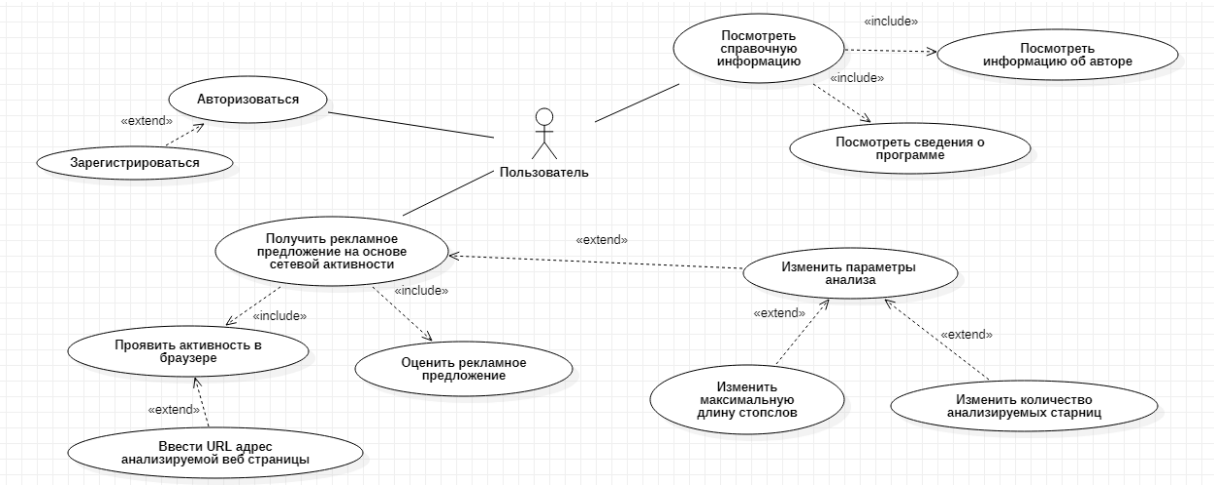


Рисунок 2 – Диаграмма вариантов использования системы для пользователя сети

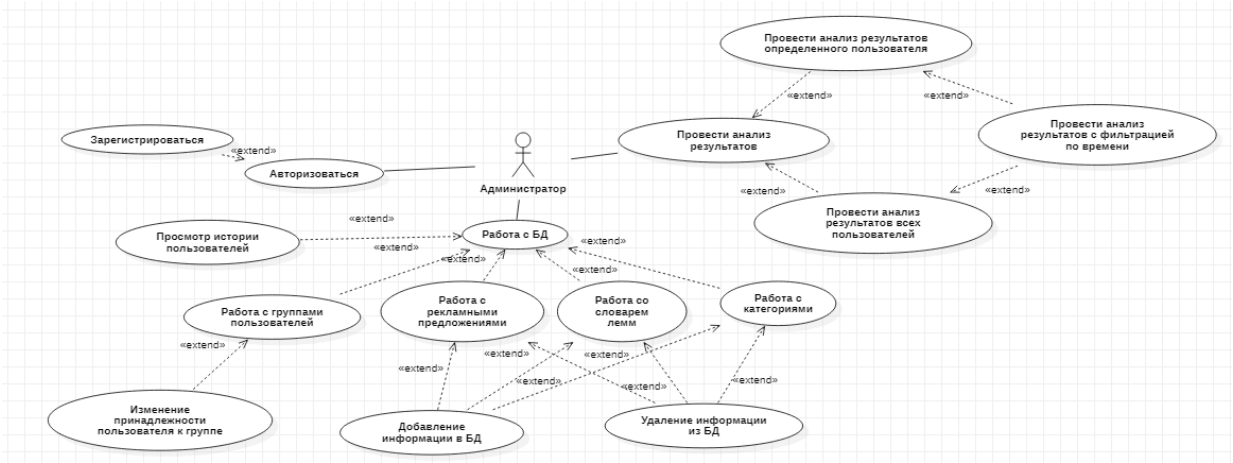


Рисунок 3 – Диаграмма вариантов использования для администратора

На рисунке 4 представлена логическая модель данных системы.

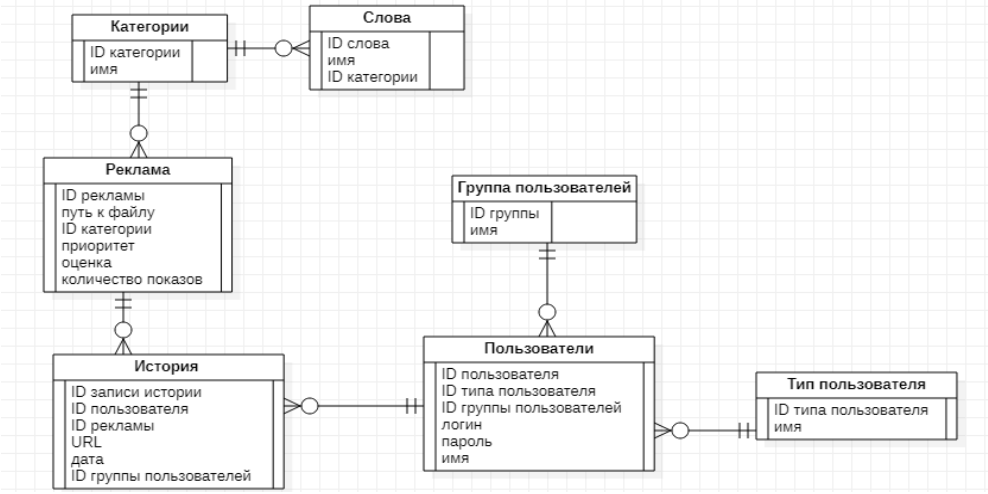
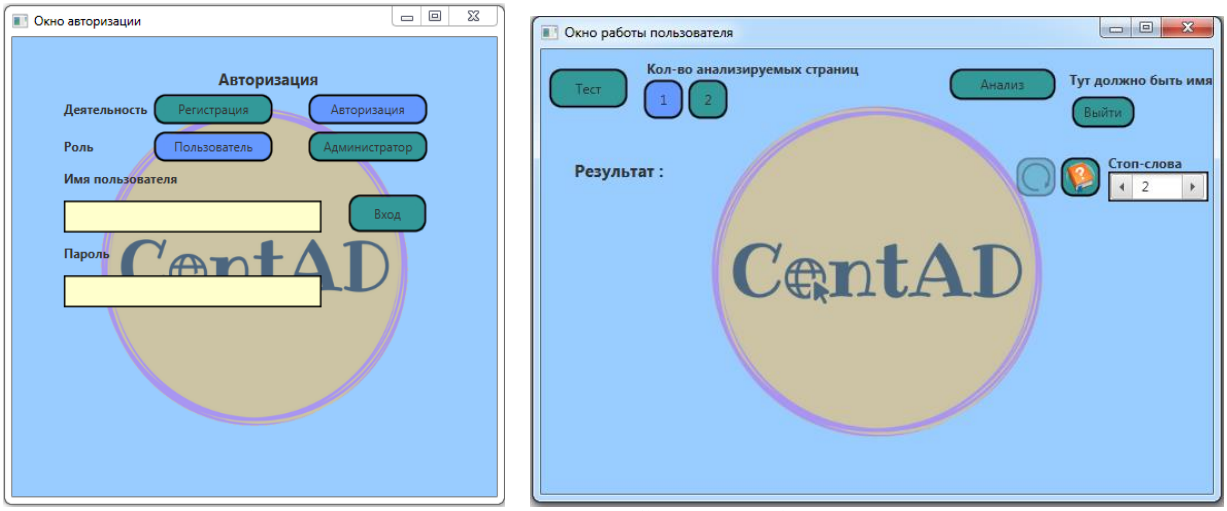
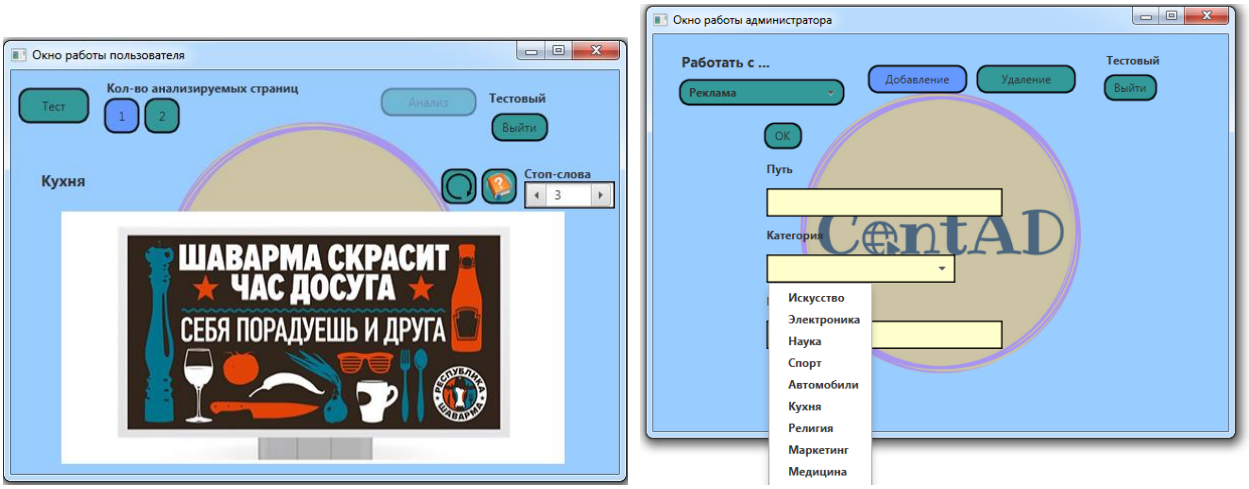


Рисунок 4 – Логическая модель данных



а) Экранная форма авторизации, б) Форма работы пользователя



в) Выдача рекламного предложения, г) Форма работы администратора

Рисунок 5 – Экранные формы системы

Заключение. В работе описана разрабатываемая автоматизированная система, предназначенная для формирования рекламного предложения определенного типа контекстной рекламы, исходя из результатов анализа активности пользователя в сети. Были рассмотрены классификации контекстной рекламы, описаны этапы анализа сетевой активности пользователя, методы текстового анализа, используемые для получения набора ключевых слов, характеризующих текстовое содержимое веб-страницы, а также методика формирования рекламного предложения путем сопоставления ключевых слов для каталога рекламы и текстового контента посещенных пользователем веб-страниц. Сетевые пользователи группируются в так называемые «аудитории» в соответствии с некоторыми характеристиками – интересами, возрастом, сферой деятельности и т.д. Релевантность сформированного рекламного предложения на данном этапе оценивается самим пользователем. Разработанная автоматизированная система имеет трехслойную клиент-серверную архитектуру, реализована на языке программирования Java с использованием библиотек jsoup для парсинга текста страницы и russianmorphology для реализации алгоритма лемматизации, а также СУБД PostgreSQL. В данный момент автоматизированная система проходит тестовую эксплуатацию, в дальнейшем планируется автоматическое отнесение пользователя к аудитории на основе анализа статистики его активности, а также оценка релевантности сформированного рекламного предложения..

ЛИТЕРАТУРА

1. Контекстная реклама [Электронный ресурс] // Википедия: электронная энциклопедия. [2001-2018]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Контекстная_реклама (21.03.2020).
2. Виды контекстной рекламы и особенности их использования [Электронный ресурс] // Энциклопедия результативного маркетинга. [2020]. URL: https://blog.zolle.ru/2018/09/25/vidy-kontekstnoj-reklamy/ (21.03.2020).
3. Лемматизация [Электронный ресурс] // Википедия: электронная энциклопедия. [2001-2018]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Лемматизация (21.03.2020).
4. Аудиторный таргетинг Яндекс и Google [Электронный ресурс] // Синапс. URL: https://www.synapse-studio.ru/blog/auditornyy-targeting-yandeks-i-google (21.03.2020).
5. Лемматизация [Электронный ресурс] // Инструменты для NLP разработчика: лексика, морфология, синтаксис русского языка [2019] URL: http://www.solarix.ru/for_developers/api/lemmatization.shtml (21.03.2020)

УДК 544.01

Доросинский А.Ю., Недорезов В.Г.

ООО научно-производственное предприятие «Сонар», Пенза, Россия

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

МЕТОД КОНТРОЛЯ СОСТАВА ГАЗОВОЙ СРЕДЫ В ПОДКОРПУСНОМ ПРОСТРАНСТВЕ РЕЗИСТИВНЫХ МИКРОСХЕМ

Обозначены актуальность, и проблемы оценки газовой среды в подкорпусном пространстве микросхем изготовленных по гибридной технологии. Предложена схема установки на базе масс-спектрометра.

Показана эффективность использования метода масс-спектроскопии для контроля газового состава подкорпусного пространства резисторов и наборов резисторов при анализе отказов, отработке вопросов использования новых материалов и оценке влагопроницаемости корпусов.

Ключевые слова:

ГАЗОВАЯ СРЕДА, ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ, ПОДКОРПУСНОЕ ПРОСТРАНСТВО, ГИБРИДНАЯ МИКРОСХЕМА, МАСС-СПЕРКТРОМЕТРИЯ, ОБРАЗЕЦ, КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

Проблема управления качеством промышленной продукции весьма сложна и многогранна. В электронной промышленности, характеризуемой сложностью технологических процессов, массовостью и сложностью выпускаемых изделий при высокой автоматизации, проблема повышения качества стоит особенно остро так ее решение позволяет увеличить процент выхода годных изделий, улучшить технологические характеристики изделий, в том числе и их надежность.

Работы по повышению качества и надежности резисторов и резистивных микросхем не могут иметь успеха без широкого внедрения в производство эффективных методов контроля качества и физико-технического анализа причин технологических потерь и отказов при отбракованных и других испытаниях, а также при эксплуатации.

Одной из технически сложных проблем при реализации гибридной технологии производства является контроль состава газовой среды в подкорпусном пространстве микросхем.

Анализа литературных данных [1–3] показал, что наиболее перспективным направлением для решения этой проблемы является метод масс-спектрометрии. Была разработана специальная установка, основными частями которой является масс-спектрометр магнитного, монопольного или квадрупольного типа, обогреваемая камера для вскрытия микросхем, блоки управления и обработки информации. Методика проведения масс-спектрометрического контроля влаги включает калибровку масс-спектрометра по эталонным газовым смесям, монтаж испытываемой микросхемы в термошкафу, вакуумирование и сушку системы с термокамерой в течение 12-24 ч. при температуре (115-125) °С, стабилизацию с термокамерой на уровне температуры разогрева 100 °С корпуса микросхемы.

При исследовании физики отказов микросхем установлено, что влага, присутствующая внутри корпуса, является одним из основных факторов, снижающих надежность микросхем. Влияние влаги, проявляющееся в коррозии алюминиевой металлизации, накопление заряда на изолирующем диэлектрике, миграции ионов основных материалов и примесей отмечено в [1], где подчеркивается необходимость установления верхней границы содержания влаги в корпусе, исключающей развитие этих процессов.

Вместе с тем количественные закономерности, связывающие содержание влаги в корпусе со сроком службы и хранения микросхем, изучены сравнительно мало, что вызвано разнообразием условий хранения, применения и эксплуатации изделий, широкой номенклатуры материалов, используемых для изготовления корпусов, различной интенсивностью процессов натекания из окружающей среды и другие.

Например, из-за проницаемости пластмассового корпуса накопление влаги может достигать 30-100 мкг в неделю [1], а вследствие термодесорбции керамического корпуса в течение 4000 часов увеличение количества влаги может составлять при температуре 150 °С 0,002 мкг/см^3, при 200°С более чем 0,012 мкг/см^3.

Накопление влаги внутри корпуса вследствие недостаточной герметичности уплотнений может быть еще более неопределенным, так как в условиях массового производства микросхем отбраковываются лишь изделия с мощностью течи, превышающей $5 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст/с.

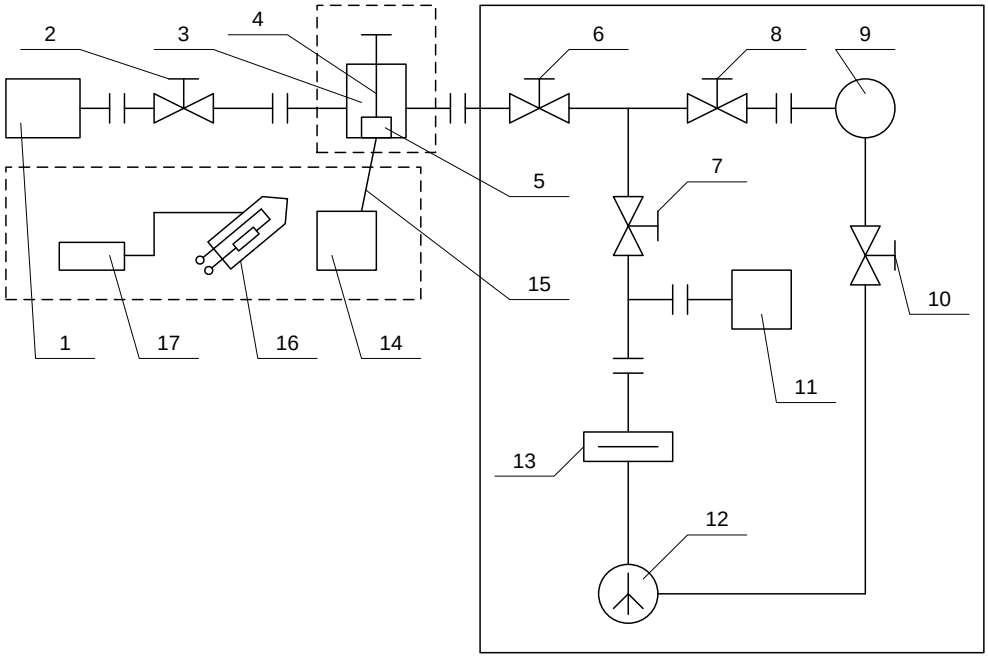
Для оценки содержания влаги в подкорпусном пространстве было проведено исследование НР1-27-6. Исследование проводилось на установке, разработанной на базе масс-спектрометра МИ-1201. Принципиальная схема установки представлена на рисунке 1.

Образец (5) размещается в вакуумной камере (3). Стальная игла (4) служит для прокалывания образца, а масс-спектрометр (1) – для количественного измерения высвобождающихся при этом паров воды.

Точные измерения могут быть сделаны только после предварительного удаления всей влаги из системы, что осуществимо лишь при длительной откачке (24 часа) всей системы при температуре 450 °С и практически невозможно при проведении анализа партии образцов. Приемлемое значение чувствительности (100-150 ppm) обеспечивается подготовкой масс-спектрометра (давление паров воды до соответствующего уровня), уменьшением внутреннего объема всей системы до минимума и перегревом системы при температуре 100 °С в течение 1 ч после установки каждого образца.

Для измерения содержания паров воды в образце последний прокалывают стальной иглой, и пары воды попадают в масс-спектрометр, индикатор массовых чисел которого настроен на 18 а.е.м. Такая настройка необходима ввиду малого времени измерения.

Расчет количества влаги производится путем измерения площади, ограниченной кривой измерения ионного тока, соответствующего массовому числу 18 а.е.м., и осью координат (рисунок 2). Для калибровки масс-спектрометра используются образцы известного объема, герметизируемые в среде с контролируемым содержанием влаги. (Применялись образцы, герметизированные в среде с относительной влажностью f = 51% и f = 0,5 % при 20 °С).



1 – масс-спектрометр; 2,6-8,10 – высоковакуумные клапаны: 3 – камера образца; 4 – игла; 5 – образец; 9 – механический насос; 11 – манометрический преобразователь; 12 – диффузионный паромасляный насос; 13 – азотная ловушка; 14 – автоматический потенциометр; 15 – термопара; 16 – нагреватель; 17 – компрессор

Рисунок 1 – Схема устройства анализа влагосодержания в корпусе микросхемы

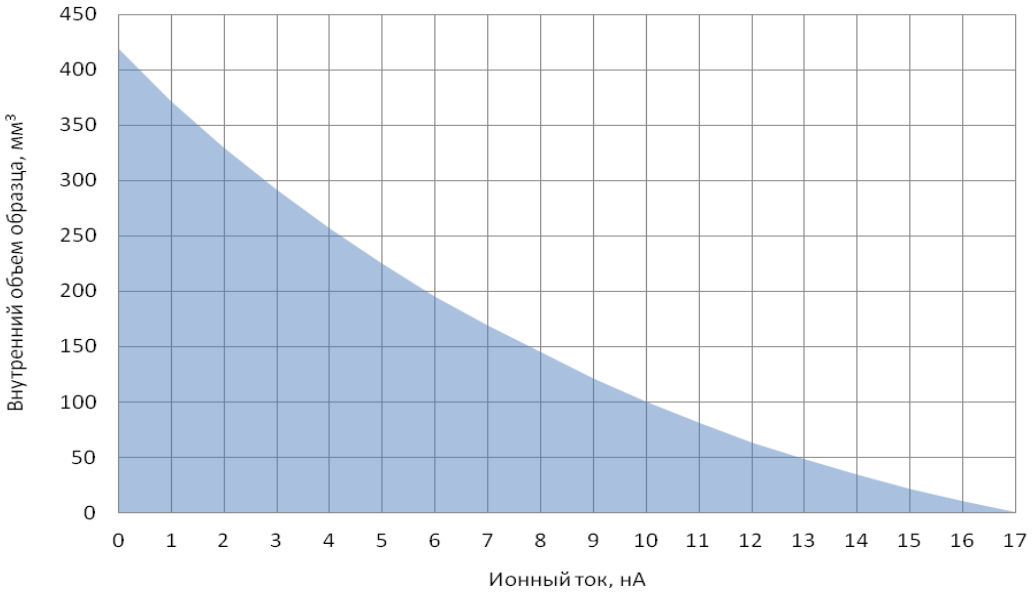


Рисунок 2 – График расчета концентрации паров H2O в подкорпусном пространстве набора резисторов НР-1-27-6

По графику (рисунок 2) проведем расчет концентрации влаги в подкорпусном пространстве НР-1-27-6. Площадь, ограниченная кривой (заштрихованная область) составляет 2876,5 учетных единиц. При калибровке масс-спектрометра было установлено, что 1 у.е. = $0{,}15 \cdot 10^{-9}$ H2O.

Расчет абсолютной влажности определяется по формуле

$$f = \frac{SK}{V},$$

где f – абсолютная влажность, Г/см3;

S – площадь по кривой, у.е.;

К – переводной коэффициент, г;

V – внутренний объём образца, м^3.

Для рассматриваемого случая абсолютная влажность в корпусе НР1-27-6 составит f=1,88 г/м^3.

Это соответствует относительной влажности 10,8 % при 20 °С, что соответствует парциальному давлению паров воды 1,64 мм.рт.ст.

Из экспериментальных данных видно [1], что парциальное давление паров воды более 1,95 мм.рт.ст, в корпусе микросхем на МОП транзисторах с алюминиевой металлизацией приводит к отказу, тогда как парциальное давление менее 0,3 мм.рт.ст. обычно наблюдается у годных приборов. В микросхемах, изготовленных по планарно-эпитаксиальной технологии на биполярных транзисторах, а также с алюминиевой металлизацией отказы наблюдались при содержании влаги в корпусе около 0,3 мм.рт.ст., в микросхемах, выдержавших испытания, количество влаги около 0,1 мм.рт.ст.

Таким образом, опробование метода показало эффективность масс-спектроскопии для определения влагосодержания и позволило установить наличие паров воды в подкорпусном пространстве резисторов НР1-27.

Для дальнейшего повышения качества выпускаемых микросхем и повышения тактико-технического уровня разработок необходимо продолжить работы в направлении анализа подкорпусной атмосферы микросхем, исследования влагопроницаемости корпусов, исследование влагопроницаемости мест герметизации корпусов и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шиманюк Л.М. Методика оценки содержания влаги в микросхемах / Л.М. Шиманюк // М.: ЦНИИ "Электроника", Электронная техника, сер.8, вып. 8 (78), 1979, с. 10-14.

2. Чернышов А.А. Контроль важности в корпусах интегральных микросхем / А.А. Чернышов, С.А. Крутоверцев, А.И. Бутурлин // М.: ЦНИИ "Электроника", зарубежная электронная техника, №2, 1987, с. 3-64.

3. Доросинский, А.Ю. Особенности изготовления металлокерамических резистивных элементов / А.Ю. Доросинский, В.Г. Недорезов // Надежность и качество: сб. тр. междунар. симп. : в 2 т. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2018. – Т.2. – С. 230–231

УДК 544.01

Доросинский А.Ю., Недорезов В.Г., Доросинская Ю.В.

ООО научно-производственное предприятие «Сонар», Пенза, Россия

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

ОАО «Электромеханика», Пенза, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

Представлены результаты по использованию методов спектроскопии в исследовании элементного слоя резистивных элементов.

Рассмотрены методы электронной и ионной Оже-спектроскопии, вторичной ионной масс-спектроскопии, электронной спектроскопии для химического анализа и рентгеноспектральный микроанализ.

Показаны перспективы использования данных методов при анализе отказов, отработки технологических режимов формирования резисторов.

Ключевые слова:

АНАЛИЗ, ОТКАЗ, СПЕКТРОСКОПИЯ, РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, РЕЗИСТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ, ОБРАЗЕЦ, КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

Временная и температурная стабильность тонкопленочных резисторов и сборок во многом зависит от структурно-фазового состава резистивной пленки, представляющей из себя микро-и нанообъемы с физико-химическими неоднородностями.

Контроль распределения химических элементов по телу тонкой резистивной пленки можно успешно решать при условии возможности анализа химического (элементного) состава микрообъемов размерами от 10^{-3} до 10^{3} мкм с разрешением по глубине от 1 до 10 нм, с разрешающей способностью в плоскости от 10^{-1} до 10^{-2} мкм и широким диапазоном концентраций до 10–7 ат.%. Такой анализ по существу сводится к **опре**делению атомного состава по толщине (послойному анализу) и **по** плоскости.

Наряду с возможностями современных методов химического анализа, послойный и плоскостной анализы могут осуществляться физическими методами, основанными на электронной и ионной спектроскопии. Здесь имеется ввиду, прежде всего, методы электронной и ионной Оже-спектроскопии (ЭОС и ИОС), вторичной ионной масс-спектроскопии (ВИМС), электронной спектроскопии для химического анализа (ЭСХА) и рентгеноспектральный микроанализ (РСМА).

Метод ЭОС

Использование методов ЭОС для неразрушающего контроля распределения химических элементов по телу резистивного элемента, на данный момент времени, не представляется возможным в связи с геометрическими ограничениями исследуемых образцов.

Для анализа изделий в Оже-спектрометре необходимо разрушать резистивный элемент. При определении возможности анализа тонких резистивных пленок на Оже-спектрометре наблюдалась проблема с накоплением заряда на исследуемом материале.

Накопление электрического заряда на исследуемой поверхности приводит к следующим искажениям Оже-спектра:

сдвиг Оже-спектров по энергетической шкале в низкоэнергетическую сторону, что затрудняет, а порой и делает невозможным расшифровку Оже-спектров;

"выталкивание" электронного (ионного) зонда заряженной областью на соседние незаряженные, Оже-спектры при этом регистрируются либо с очень большими искажениями, либо не регистрируются вообще [1-3].

В некоторых случаях удовлетворительные результаты получаются при наложении на поверхность тонкой резистивной пленки, редкой металлической заземляющей сетки или металлической заземляющей диафрагмы .Иногда удается получать хорошие результаты при подаче небольшого отрицательного потенциала на объектодержатель, создающего отталкивающее поле для вторичных электронов. К этому потенциалу очень чувствительна эмиссия истинно вторичных электронов. Вносимые при этом искажения в Оже-спектре не очень значительны.

Опробование, выше приведённых методов для нейтрализации заряда поверхности исследуемых резистивных плёнок, положительных результатов не дало.

В связи о этим было проведено опробование метода ЭОС для хорошо проводящих материалов, в частности для контактных площадок резистивных элементов.

Был проведен послойный анализ структуры V/K20C/Al/Ti (контактная площадка тонкопленочного резистора) полученный последовательным термическим напылением слоев **V**, **K20C**, **Al**, Ti на ситалловую подложку, соответственно.

Анализ проводился на Оже-спектрометре 09И0С-10-005. Оже-исследования проводились при ускоряющем напряжении 3 кВ и токе электронного зонда 1 мкА. Диаметр электронного пучка, определяющий локальность анализа на уровне микрометра. Травление поверхности образца проводилось ионами аргона с использованием ускоряющего напряжения 5 кВ и плотности ионного тока до 0,5 А/см^2. Оже-анализ проводился как непрерывно во время ионного травления (снятие профилей «Оже-профилирование»), так и по точкам после ионного травления по границам кратера.

На рисунке 1 представлены профили распределения элементов подвергнутых анализу и Оже-спектры соответствующих участков.

По оси ординат на кривых распределения при ионном травлении отложена амплитуда Оже-пиков соответствующих элементов. Как видно из представленных профилей, кислород связан только с титаном. Оже-спектры полученные на титане до ионного травления и на его начальных стадиях, подтверждают этот вывод. Судя по относительной интенсивности линий O_2 и Ti, с учетом близости их элементных факторов чувствительности (0,5 и 0,45) содержание кислорода в титане близко к Ti_2O. Присутствует в слое титана и углерод, причем в виде карбида. Следует отметить, что "карбидизация" почти всегда происходит при травлении, поэтому из проведенных исследований нельзя сделать однозначного вывода о форме существования углерода в слое титана. В тоже время наличие углерода в титане и его отсутствие в Al, возможно, связано со способностью Ti, в отличие от Al, образовывать карбиды.

Из выше приведенных данных следует, что использование метода для неразрушающего контроля распределения химических элементов резистивного элемента практически невозможно.

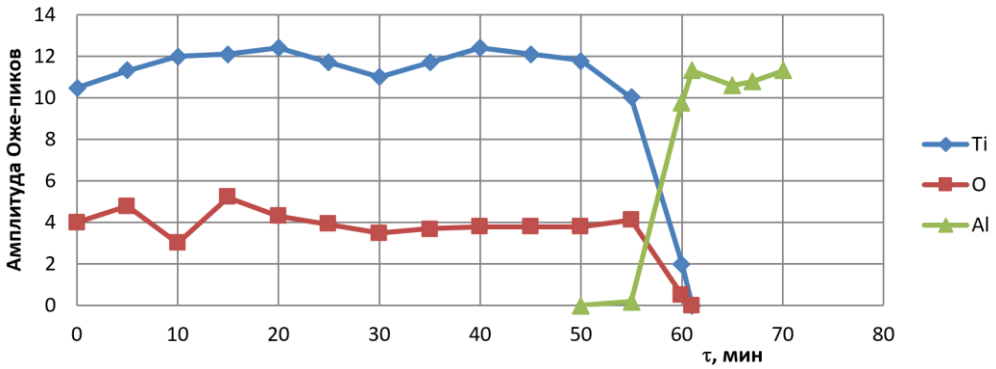


Рисунок 1 – Профили распределения анализируемых элементов (*Ti, O, Al*) по толщине контактной площадки

Метод ЭСХА

Достоинством ЭСХА является то, что этот метод почти неразрушающий поверхность образца: фотохимическая реакция (восстановление окислов) наблюдается лишь при длительном облучении, кроме того, их можно подавить охлаждением образца ниже комнатной температуры, отсутствует также зарядка поверхности при исследовании.

ЭСХА позволяет обнаруживать все элементы кроме водорода, минимальная концентрация обнаруживаемых элементов в лучших спектрометрах составляет (0,1-1)% и заметно отличаются от элемента к элементу.

При использовании данного метода для определения элементного состава поверхности исследуемого образца (тонкой резистивной пленки) получают спектр фотоэлектронов во всем диапазоне энергий. Идентификацию элементов на поверхности проводят, определяя энергию связи и сопоставляя ее с известными значениями энергии связи для чистых элементов.

На установке HP5950A был проведен анализ тонких резистивных пленок из материала К20С, напыленных термическим испарением в различных режимах. В результате проведенного качественного анализа изменений элементного состава тонких пленок от режимов напыления не обнаружено, в связи с тем, что информация поступает со всей поверхности исследуемого образца.

Из выше приведенных данных следует, что использование метода ЭСХА для неразрушающего контроля элементного состава тонких резистивных пленок не представляется возможными виду плохой геометрической разрешающей способности. При разработке установок с локальностью 200 мкм и менее, этот метод полезен при отработке технологических режимов на стадии НИОКР и анализе отказов.

Метод РСМА

При данном анализе излучение в исследуемом образце возбуждается электронным пучком. Для идентификации элементов, содержащихся в образце, и определения их концентрации измеряют длину волны и интенсивность соответствующих линий рентгеновского спектра. Основное достоинство метода – возможность локального определения химического состава вещества, реализуется благодаря сфокусированному в узкий зонд электронному пучку.

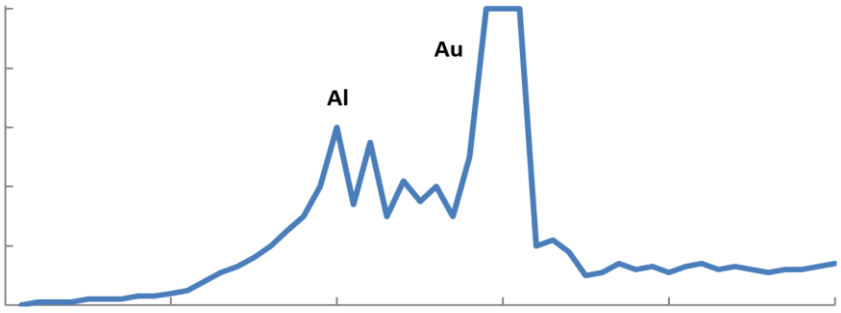


Рисунок 2 – Рентгеновская спектрограмма микросварного узла Au-Al

Результаты опробования приведены на рисунке 2, которые показывают присутствие в материале Au проволоки Al, что свидетельствует о диффузии Al из контактной площадки в Au проволоку и об образовании интерметаллических фаз.

Электроны с энергией от 10 до 30 кэВ проникают в образец на глубину порядка 1 мкм и могут отклоняться от первоначального направления так же на расстояние до 1 мкм. Этим определяется наименьший анализируемый объем образца. Улучшение локальности (пространственное разрешение) путем значительного уменьшения энергии электронов целесообразно, так как кинетическая энергия должны быть достаточной для эффективного возбуждения рентгеновских лучей. Как следствие у большинства практически важных приложений локальность метода ограничена величиной порядка 1 мкм. В связи с этим РСМА для неразрушающего контроля **резисторов** малоэффективен, так как анализируемые детали имеют толщину (контактная площадка, резистивный слой и др.) порядка 1 мкм.

Таким образом, использование метода РСМА, обладающего локальностью на уровне 1-2 мкм, не обеспечивает достоверного количественного и качественного определения элементного состава тонких резистивных слоев, в виду того, что глубина генерации рентгеновского излучения в 5-20 раз превышает толщину резистивной пленки. Однако, учитывая высокую разрешающую способность, метод РСМА может быть использован для анализа элементного состава контактных перемычек;

ЛИТЕРАТУРА

1. Фомин Д.В. Электронная Оже-спектроскопия / Д.В. Фомин, В.Л. Дубов. //: Учебно-методическое пособие. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2015.

2. Оура К. Введение в физику поверхности / К. Оура, В.Г. Лифшиц, А.А. Саранин и др. // под ред. В.И. Сергиенко. – М.: Наука, 2006. – 490 с.

3. Дж. Маан, В. Спайсер, А. Либш и др. Электронная и ионная спектроскопия твердых тел / Л. Фирмэнс, Дж. Вэнник, В. Декейсер. – М.: Мир, 1981. – 467 с.

УДК 658.5

Доросинский А.Ю.

ООО научно-производственное предприятие «Сонар», Пенза, Россия

РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОСТИ РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрены погрешности, влияющие на линейность резистивного элемента и произведена их классификация. Описаны методы расчета данных погрешностей с учетом особенностей каждой из составляющих.

Ключевые слова:

ЛИНЕЙНОСТЬ, РЕЗИСТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ, УЗЕЛ, ПОГРЕШНОСТЬ

Одним из основных требования, предъявляемых к проволочным переменным резисторам, является обеспечение заданной точности. Так как разработанные резистивные элементы применяются зачастую для регулировки напряжения в специальных изделиях, то требования линейности для них имеет немаловажное значение.

Резистивный элемент представляет собой отдельный узел резистора, поэтому для него можно определить только те погрешности, влияющие на линейность, которые связаны с изготовлением этого узла [1]. Их можно разделить на два вида:

методологические погрешности, связанные с наличием витков (витковая погрешность);

погрешности, обуславливаемые технологическим процессом изготовления резистивных элементов.

Основной погрешностью, которая влияет на точность линейной характеристики проволочных резистивных элементов, является витковая погрешность. Эта погрешность устранена быть не может и является одним из основных факторов, ограничивающих наибольшую достижимую точность проволочных резисторов. Находящаяся в прямой зависимости от разрешающей способности, она может быть уменьшена путем увеличения числа витков намотки.

Величина её определяется по формуле

$$P_{\text{в}} = \pm\frac{1}{2}G,$$

где G – разрешающая способность.

Погрешности, порождаемые технологическим процессом изготовления резистивных элементов, значительно труднее поддаются расчету и возможности их уменьшения. Основными из этого вида погрешностей являются:

погрешности, порождаемые колебаниями омического сопротивления резистивной проволоки по её длине;

погрешности, возникающие при намотке, вследствие неточности шага и непостоянного натяжения проволоки;

погрешности, порождаемые неточностью изготовления каркасов;

погрешности, возникающие при зачистке контактной дорожки, и др.

Произведем анализ некоторых из указанных погрешностей.

1) Погрешность от колебания сопротивления резистивной проволоки по длине определяется по формуле

$$P_1 = \frac{\Delta\rho}{8\rho_{\text{ср.}}} \cdot 100\%,$$

где $\Delta\rho$ – среднеквадратичное отклонение погонного сопротивления проволоки в пределах одной катушки, определяется экспериментально;

$\rho_{ср.}$ – среднее значение погонного сопротивления проволоки в пределах одной катушки.

Величина этой погрешности для всех номиналов будет одинакова, т.к. проволока для них применяется одна и та же.

2) Погрешность, вызванная неточностью шага намотки, зависит от витковой погрешности резистивного элемента и определяется через неё по формуле

$$P_2 = P_{\text{в}} \cdot \frac{\Delta t}{t},$$

где t – шаг намотки;

Δt – погрешность шага намотки.

Наибольшая погрешность шага намотки для существующих в настоящее время намоточных станков равна ±10 мкм.

3) Погрешность от неточности диаметра каркаса определится по формуле

$$P_2 = \frac{\Delta r_d}{R_0} \cdot 100\%,$$

где $\Delta r_d = R_{пог} \cdot \pi\Delta d$ – абсолютная погрешность резистивного элемента от неточности диаметра каркаса, где $R_{пог}$ – погонное сопротивление витка, Δd – отклонение диаметра каркаса от номинальной величины.

R_0 – номинальное сопротивление.

Кроме отклонений на применяемый каркасный провод, его диаметр испытывает изменение при правке что тоже вносит свой вклад в суммарную погрешность линейности. Максимальная погрешность резистивного элемента равна сумме всех указанных выше погрешностей

$$P_\Sigma = p_{\text{в}} + \sum_{i=1}^{3} p_i.$$

Погрешности линейности, зависящие от превышения или утопления витков резистивного элемента по отношению к уровню контактной дорожки, непостоянства натяга в процессе намотки, зачистки контактной дорожки, носят случайный характер и их практически невозможно рассчитать, однако, учитывать их необходимо.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что полная погрешность резистивного элемента будет несколько больше рассчитанной P_Σ.

Из опыта проводимых ранее опытно-конструкторских работ наиболее существенной технологической погрешностью, влияющей на величину суммарной погрешности резистора и доходящей иногда до $40 \div 50\%$, является погрешность от эксцентриситета контактной дорожки резистивного элемента относительно оси вращения контактной системы. В этом случае одному и тому же углу поворота оси на различных участках соответствует различное перемещение контакта по намотке и, следовательно, различные приращения величины сопротивления.

В приведенных же выше расчетах линейности резистивных элементов, погрешности, вносимые подвижной контактной системой, не учитывалось.

В заключение можно сделать вывод, что сам резистивный элемент несущественно влияет на линейность потенциометрического устройства, и, чтобы уменьшить отклонение от линейной зависимости устройства в целом, необходимо более тщательно конструировать подвижную контактную систему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потенциометры / А.Т. Белевцев. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1969. – 328 с.

2. Повышение работоспособности резьбовых соединений путем применения ультразвука при обработке и сборке: монография / Б.Л. Штриков, В.В. Головкин, В.Г. Шуваев, И.В. Шуваев. – М.: Машиностроение, 2009. – 125 с.

3. Шуваев В.Г., Шуваев И.В. Контроль качества затяжки резьбовых соединений при ультразвуковой сборке по динамическим характеристикам// Международный симпозиум «Надежность и качество», Пенза,25-31 мая, 2013. 2 том. С.276-278.

4. Шуваев В.Г. Адаптивная система управления ультразвуковой запрессовкой с оценкой качества формируемых соединений// Международный симпозиум «Надежность и качество», Пенза,25-31 мая, 2013. 2 том. С.278-279.

УДК 004.932.4

Ефимов А.А., Кудрина М.А., Гордеева О.А.

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет), Самара, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КАЧЕСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА

Предварительная обработка изображений является одним из основных этапов в задаче распознавания изображений. Для повышения качества распознавания применяется ряд функций, среди которых поворот, бинаризация, выравнивание, удаление шумов и др.

Для исследования влияния различных алгоритмов предварительной обработки на качество распознавания текста была разработана автоматизированная система. Данная система включает следующие алгоритмы предварительной обработки: бинаризация с нижним порогом, бинаризация с двойным ограничением, методы Оцу, Саувола и Брэдли, метод удаления шумов с помощью медианного фильтра. Для распознавания текста с обработанного изображения использовалась библиотека с открытым исходным кодом Tesseract.

Проведено распознавание текста с изображений с различного вида помехами, подсчитана точность распознавания текста с помощью расстояния Левенштейна. Приведены графики, наглядно показывающие, как различные виды бинаризации влияют на точность последующего распознавания текста с изображения.

Ключевые слова:

РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕКСТА, БИНАРИЗАЦИЯ, ИЗОБРАЖЕНИЕ, УДАЛЕНИЕ ШУМОВ

Введение. Задача перевода информации с бумажных на электронные носители имеет большую актуальность в наши дни. Наиболее простым способом перевода информации в электронный вид является сканирование документов с помощью сканера. Несмотря на простоту этого способа, результат работы, графический файл, требует больших затрат на хранение и передачу информации. Более предпочтительным способом с практической точки зрения является перевод бумажных носителей в текстовый электронный документ.

На вход системы распознавания поступает растровое изображение документа. Для оптимальной работы алгоритмов желательно, чтобы изображение было как можно более высокого качества. Наличие шумов, размытости, низкой контрастности усложнит работу алгоритмов.

Поэтому перед распознаванием текста изображение проходит обработку, повышающую его качество. Она включает удаление шумов с изображения, повышение резкости и контрастности изображения и его бинаризация.

Результаты проведенного анализа позволяют выявить наиболее подходящий метод бинаризации для самых распространенных видов помех на изображении.

Бинаризация изображения. Процесс бинаризации – это перевод цветного (или в градациях серого) изображения в двухцветное черно-белое. Главным параметром такого преобразования является порог t – значение, с которым сравнивается яркость каждого пикселя. По результатам сравнения, пикселю присваивается значение 0 или 1. Основной целью бинаризации является уменьшение количества информации на изображении для упрощения последующей работы с ним.

Методы бинаризации можно разделить на две группы: глобальные (пороговые) и локальные (адаптивные) [1-3].

Глобальные методы бинаризации. В глобальных методах бинаризации работа происходит со всем изображением сразу. Определяется порог бинаризации t, величина которого остается неизменной в течение процесса работы алгоритма. К глобальным методам бинаризации относятся:

бинаризация с нижним порогом;

бинаризация с верхним порогом;

бинаризация с двойным ограничением;

метод Оцу.

Первые три метода основаны на применении заранее определенного порога к изображению. Яркость пикселя сравнивается с порогом и получает либо черный, либо белый цвет по результатам сравнения.

Метод Оцу работает иначе [1]. С помощью него вычисляется порог t, минимизирующий среднюю ошибку сегментации, т.е. среднюю ошибку от принятия решения о принадлежности пикселей изображения объекту или фону. Значения яркостей пикселей изображения можно рассматривать как случайные величины, а их гистограмму – как оценку плотности распределения вероятностей. Если плотности распределения вероятностей известны, то можно определить оптимальный (в смысле минимума ошибки) порог для сегментации изображения на два класса c0 и c1 (объекты и фон).

Гистограмма строится по значениям $p_i = \frac{ni}{N}$. В данной формуле N – общее количество пикселей изображения с уровнем яркости i. Порог t представляет собой целое значение от 0 до L = max. При помощи гистограммы все пиксели разделяются на «полезные» (объектные») и фоновые. Каждому виду соответствуют относительные частоты W0 и W1:

$$W_0(t) = \sum_{i=1}^{t} p_i,$$

$$W_1(t) = \sum_{i=t+1}^{L} p_i = 1 - W_0(t).$$

Далее вычисляются средние уровни для каждого вида изображения по формулам:

$$\mu_0(t) = \sum_{i=1}^{t} \frac{ip_i}{W_0},$$

$$\mu_1(t) = \sum_{i=t+1}^{L} \frac{ip_i}{W_1}.$$

Далее ищется порог, который уменьшает дисперсию внутри вида пикселей, определяемую следующей формулой:

$$\delta_W^2(t) = W_1(t)\delta_1^2(t) + W_2(t)\delta_2^2(t).$$

Следующим шагом определяется межклассовая дисперсия, по формуле, представленной ниже:

$$\sigma_{кл}^2(t) = W_0(t)W_1(t) \cdot (\mu_1(t) - \mu_0(t))^2.$$

Затем вычисляется максимальное значение для оценки качества деления изображения на две части, которое соответствует искомому порогу:

$$\eta(t) = \max\left[\frac{\sigma_{кл}^2(t)}{\sigma_W^2(t)}\right].$$

Достоинствами метода Оцу являются [1]:

простота реализации;

адаптация к различного рода изображениям, при помощи выбора оптимального порога;

быстрое время выполнения.

Локальные методы бинаризации. Операция сравнения яркости пикселя с неким пороговым значением является достаточно простой задачей. Важнее найти такое пороговое значение, которое позволит корректно отделить символы не только от фона, но и от шума, бликов, фона и другого информационного мусора различного вида.

Метод Брэдли. Часто для нахождения оптимального порогового значения используют математическую статистику. В данном методе для этого используются интегральные изображения.

Интегральное изображение – это инструмент, который помогает вычислить сумму яркостей пикселей в случайном прямоугольном секторе изображения, вне зависимости от того, имеются ли значения яркости для всех необходимых пикселей. Без интегральных изображений сумма яркостей пикселей вычислялась бы за линейное время для каждого пикселя прямоугольного сектора. Но если необходимо вычислить сумму для нескольких секторов изображения, можно использовать интегральное изображение и получить константное число операций для каждого сектора [2].

Интегральное изображение вычисляется так: для каждой точки интегрального изображения $I(x,y)$ вычисляется сумма яркостей пикселей левее и выше

данной точки. Формула вычисления каждой точки интегрального изображения имеет следующий вид:

$$I(x,y) = f(x,y) + I(x-1,y) + I(x,y-1) - I(x-1,y-1).$$

Яркость любого пикселя случайного сектора исходного изображения с верхней левой точкой (x_1, y_1) и нижней правой точкой (x_2, y_2) вычисляется так:

$$\sum_{x=x_1}^{x_2}\sum_{y=y_1}^{y_2} f(x,y) = I(x_2,y_2) - I(x_2,y_1-1) - I(x_1-1,y_2) + I(x_1-1,y_1-1).$$

Суть метода Брэдли состоит в подсчете средней яркости пикселей в секторе $s \times s$ вокруг каждого пикселя изображения. Благодаря уже подсчитанному интегральному изображению, вычисление средней яркости вычисляется за линейное время. Если значение яркости пикселя на t процентов ниже среднего, ему присваивается черный цвет, иначе – белый. В методе Брэдли параметр s принимается за 1/8 ширины изображения, а t – за 15 [2].

$$m(x,y) = \frac{I\left(x+\frac{w}{2}, y+\frac{w}{2}\right) + I\left(x-\frac{w}{2}, y-\frac{w}{2}\right) - I\left(x+\frac{w}{2}, y-\frac{w}{2}\right) - I\left(x-\frac{w}{2}, y+\frac{w}{2}\right)}{w^2}.$$

Среднеквадратическое отклонение вычисляется следующим образом:

$$s^2(x,y) = \frac{1}{w^2}\sum_{i=x-\frac{w}{2}}^{x+\frac{w}{2}}\sum_{j=y-\frac{w}{2}}^{y+\frac{w}{2}} g^2(x,y) - m^2(x,y),$$

где $g^2(i,j)$ является значением яркости пикселя (i,j).

Метод Саувола обычно применяется к изображениям, в которым яркость распределена неравномерно. Он хорошо работает для изображений, на которых присутствуют толстые линии и крупные объекты [3].

Проектирование и реализация автоматизированной системы.

Вышеуказанные методы были реализованы в автоматизированной системе, написанной на языке программирования Java с использованием фреймворка JavaFX. Разработанная система включает в себя следующие подсистемы:

1) подсистема работы с файлами, которая позволяет выбрать готовое изображение из памяти компьютера;
2) подсистема бинаризации изображения, которая позволяет сделать из цветного изображения черно-белое;
3) подсистема удаления шумов с изображения, которая позволяет удалить шумы с изображения для уменьшения ошибок при последующем распознавании;
4) подсистема распознавания текста, которая представляет распознанные символы с изображения в текстовом виде с использованием библиотеки;
5) подсистема исследования, которая позволяет получить статистику распознавания текста с изображений с разного рода помехами после применения каждого метода бинаризации;
6) подсистема визуализации, которая представляет результат распознавания и исходное изображение, а также представляет статистику, полученную в ходе работы подсистемы исследования, в виде графиков.

На рисунке 1 приведена структурная схема системы, а на рисунке 2 – диаграмма вариантов использования системы.

Для распознавания текста с изображения после его обработки используется Tesseract OCR. Tesseract – это программа с открытым исходным кодом, которая была выпущена в 2006 году компанией Google. В ее основе лежит LSTM-сеть, которая позволяет с высокой точностью распознавать печатные тексты более, чем на 100 языках [4].

Для определения точности распознавания используется редакционное расстояние, или расстояние Левенштейна, – метрика, позволяющая определить «схожесть» двух строк – минимальное количество операций вставки одного символа, удаления одного символа и замены одного символа на другой, необходимых для превращения одной строки в другую [5].

Метод Саувола. В методе Саувола применятся обход всего изображения с помощью окна $w \times w$. Для вычисления локального порога бинаризации $t(x,y)$ используются среднее значение яркостей пикселей $m(x,y)$ и среднеквадратическое отклонение $s(x,y)$ яркости пикселей в заданном окне вокруг пикселя (x,y). Вычисляется порог по следующей формуле:

$$t(x,y) = m(x,y)\left[1 + k\left(\frac{s(x,y)}{R} - 1\right)\right],$$

где R – это максимальное отклонение ($R = 128$ для изображения в оттенках серого), а k является параметром, который принимает значения в диапазоне $[0.2, 0.5]$ [3].

С помощью интегрального изображения среднее значение яркостей пикселей в окне $w \times w$ вычисляется по формуле:

Рисунок 1 – Структурная схема системы

Пусть S_1 и S_2 – две строки (длиной M{\displaystyle M}M и N{\displaystyle N}N соответственно) над некоторым алфавитом, тогда редакционное расстояние (расстояние Левенштейна) $d(S_1,S_2)${\displaystyle {\rm {d}}(S_{1},S_{2})}d можно подсчитать по следующей рекуррентной формуле: $d(S_1,S_2) = D(M,N)$, где $D(i,j)$

$$= \begin{cases} 0, & i = 0, j = 0, \\ i, & i > 0, j = 0, \\ j, & i = 0, j > 0, \\ min\begin{Bmatrix} D(i,j-1)+1, \\ D(i-1,j)+1, \\ D(i-1,j-1)+m(S_1|i|,S_2|j|) \end{Bmatrix}, & i > 0, j > 0. \end{cases}$$

В качестве входных данных использовались фотографии печатного текста, которые подвергались различного рода помехам. Помехи были разделены по следующим группам:

затенения и засветы;
монохромный и цветной шум;
помехи во время съемки;
пуассоновский и лапласовский шум;
различная четкость и насыщенность;
физические помехи.

Автоматизированная система позволяет также добавить другие группы помех и фотографии для проведения анализа, распознавать отдельные изображения, видеть результат применения различных методов бинаризации и распознанный текст на экране.

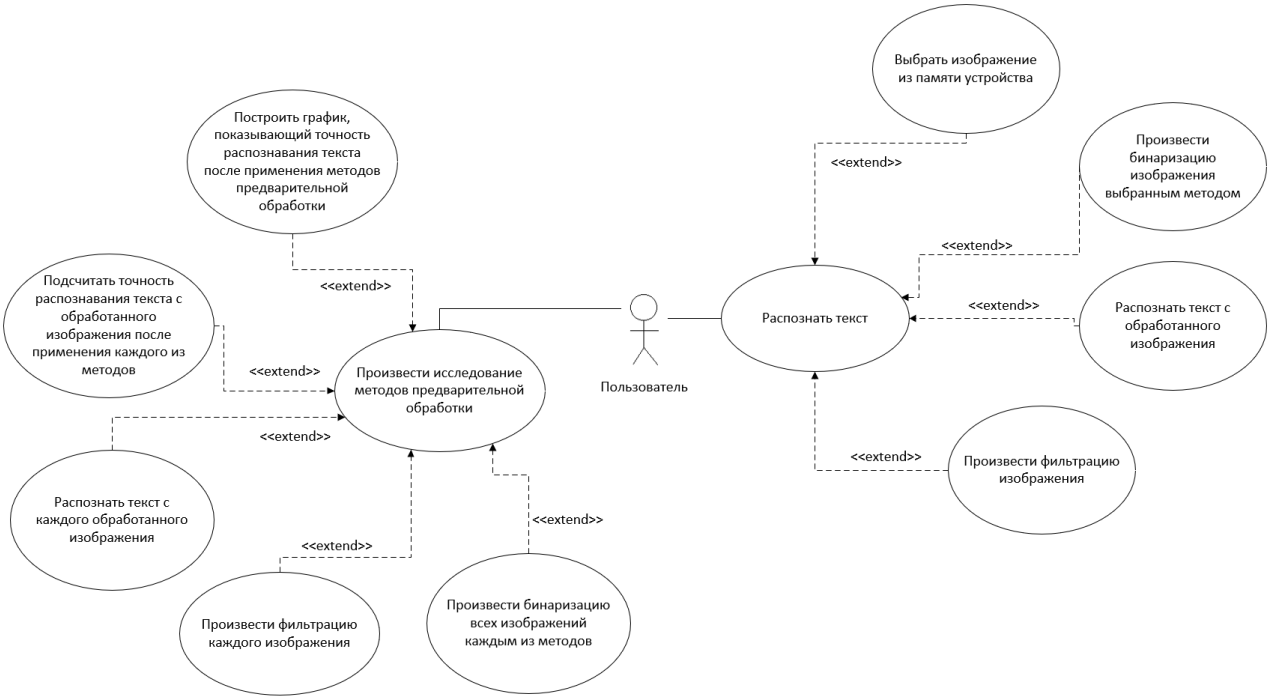


Рисунок 2 – Диаграмма вариантов использования системы

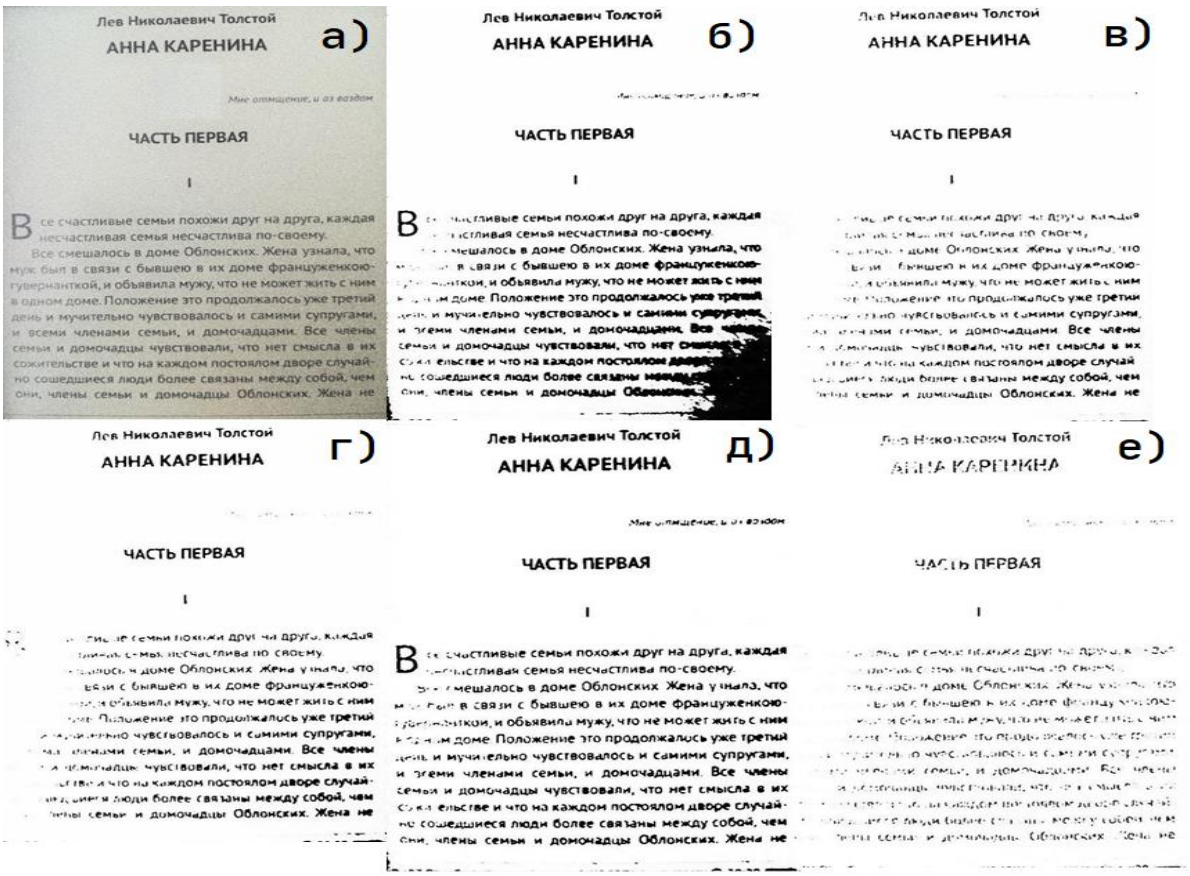


Рисунок 3 – Результаты применения различных методов бинаризации к исходному изображению

На рисунке 3 приведены результаты применения различных методов бинаризации к исходному изображению с помехами в виде монохромного шума и последующей его обработки медианным фильтром, где

исходное изображение;

результат применения бинаризации Оцу;

результат применения бинаризации с нижним порогом;

результат применения бинаризации с двойным ограничением;

результат применения бинаризации с помощью алгоритма Брэдли;

результат применения бинаризации с помощью алгоритма Саувола.

Для каждой группы помех были построены графики, изображенные на рисунке 4, показывающие точность распознавания текста после применения каждого из методов предварительной обработки. Согласно рекомендациям из РТМ, чтобы получить результаты исследований с доверительной вероятностью 0,95 нужно проводить 29 экспериментов с одинаковыми параметрами и выбирать наихудший вариант из них [6]. Результаты, отображенные на графиках, получены с учетом данных рекомендаций.

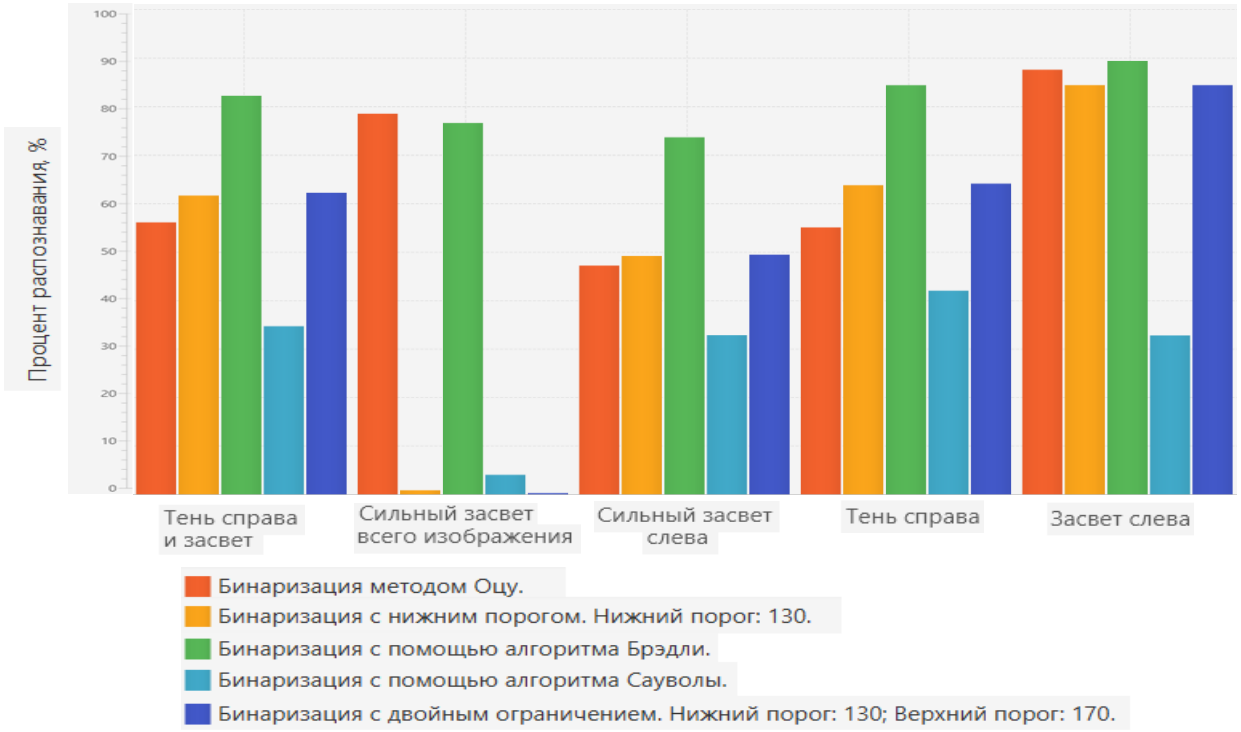


Рисунок 4 – Точность распознавания текста после применения каждого из методов предварительной обработки

Заключение. В работе описана разработанная автоматизированная система, которая позволяет производить распознавание текста с выбранного изображения после обработки его различными методами бинаризации, а также подсчитывать точность распознавания после применения каждого из этих методов и выводить результаты на графике. Это позволяет понять, какой метод бинаризации подходит для определенного вида искажений. Были рассмотрены различные виды методов бинаризации, приведены их формулы, также описан способ распознавания текста с обработанного изображения, способ подсчета точности распознавания. Автоматизированная система реализована на языке программирования Java с использованием фреймворка JavaFX для реализации пользовательского интерфейса. В данный момент система проходит этап тестирования и доработки интерфейса. В дальнейшем планируется реализовать автоматический выбор метода бинаризации в зависимости от искажения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравцова Т.А. Сравнительное исследование методов адаптивной бинаризации в задаче автоматизированного анализа изображений клеток в иммуноцитохимии. – Молодежный научно- технический вестник, 2015. 8 с;
2. Брэдли, Д., Рот Г. Метод адаптивной бинаризации с использованием интегрального изображения. – Журнал графических инструментов, 2007, N 12. С. 13-21;
3. Исрафилов Х.С. Исследование методов бинаризации изображений. – Вестник науки и образования, 2017, N 6. С. 43-50;
4. Tesseract OCR / Github – репозиторий открытого программного обеспечения. 2008-2019. URL: https://github.com/tesseract-ocr/tesseract (дата обращения: 15.12.2019);
5. Левенштейн В. И. Двоичные коды с исправлением выпадений, вставок и замещений символов. – Доклады Академий Наук СССР, 1965, т. 163, н.4. С. 845-848;
6. Методы нормирования метрологических характеристик, оценки и контроля характеристик погрешностей средств статистических измерений. – РТМ-25 139-74. Минприбор. 1974. С. 76.

УДК 681.2.084-192

Северцев Н.А., Савин Ю.А.

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), Москва, Россия

ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ

В данной статье приводятся основные понятия теории безопасности текущего состояния системы, такие как ущерб, надежность, живучесть, опасное состояние, инициирующее условие, а также показатели безопасности, такие как вероятность безопасности, период безопасности, стоимость ущерба, риск как количественная характеристика безопасности состояния системы. Под системой здесь понимается любая сложная техническая система, в том числе и робототехническая. Рассматривается математическая модель эволюции системы конечно-марковским процессом с непрерывным временем и приводятся принципы оценки основных показателей безопасности текущего состояния системы. Исследуются основные характеристики системы и показатели безопасности: весовая, переходная и спектральная функции, которые однозначно определяют качество и безопасность функционирования системы в текущих условиях. Выведены их математические формулы в виде выражений от вектора вычисленных значений весовой функции при реализации методов параметрической идентификации.

Ключевые слова:

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ, НАДЕЖНОСТЬ И ЖИВУЧЕСТЬ СИСТЕМЫ, БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМЫ, ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ, ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОПАСНОСТИ

Введение. Основные показатели безопасности

В настоящее время внимание к безопасности сложных технических систем обусловлено техногенными авариями и катастрофами, количество которых возрастает в связи с быстрыми темпами развития машиностроения, массовым производством техники различного назначения, стремительным ростом сложности машин, приборов и оборудования, насыщения ими сферы эксплуатации и технического обслуживания. Безопасность сложных технических систем стала важнейшей проблемой дальнейшего продвижения по пути научно-технического прогресса

развития экономики всех промышленно развитых стран [1-4].

Угрозы безопасности появляются в условиях эксплуатации или прогнозируются по результатам испытаний. Основным методом выявления угроз безопасности является *измерение*. Поэтому метрологическое обеспечение безопасности является важнейшим условием своевременного и правильного обнаружения потенциальных угроз и предотвращения ущерба.

В настоящее время теория безопасности эксплуатации с учётом безопасности находится на этапе становления, поэтому целесообразно остановиться на основных терминах и определениях, используемых в теории безопасности и применяемых в данном исследовании.

Под безопасностью понимают свойство объекта, определяющее его защищённость от наступления неблагоприятного события, приводящего к распаду системы или к существенным потерям, или к большей величине ущерба. При недостаточной обеспеченности этого свойства может произойти авария, сопровождающаяся катастрофой с гибелью людей. К основным показателям безопасности эксплуатации сложной технической системы относятся:

- c – стоимость ущерба;
- p – вероятность безопасности;
- $q = 1 - p$ – вероятность опасности;
- t – период безопасности.

Ущербом является количественная характеристика потерь, которые возникают при неблагоприятном событии. Можно для любых событий установить величину ущерба. Затем по величине ущерба классифицировать события как допустимые и недопустимые. Чем меньше ущерб, тем безопаснее с нашей точки зрения можно неблагоприятные (недопустимые) события определять по критическому ущербу. Поэтому критический ущерб – это субъективный параметр, по которому определяется характеристика события. Если ущерб от события выше критического, то данное событие характеризуется как неблагоприятное. При относительных единицах измерения критический ущерб – это единица ущерба.

Вероятность безопасности – это вероятность того, что при эксплуатации системы неблагоприятное событие не наступит. Для большого количества расчётов вместо вероятности безопасности удобнее использовать вероятность опасности. Вероятность опасности – это вероятность того, что неблагоприятное событие наступит.

Период безопасности является количественной характеристикой временного интервала между двумя недопустимыми – неблагоприятными событиями.

Стоимость ущерба и период безопасности являются случайными величинами, имеющими размерность. Эти показатели находятся путём обработки статистических данных. Вероятность безопасности безмерная величина, которая не может быть оценена по результатам обработки статистики. Она может быть определена методами теории множеств, алгеброй логики, теории вероятности. Вероятность безопасности, очевидно, объединена с периодом безопасности. Чем больше вероятность безопасности, тем больше период безопасности.

Безусловно, безопасность связана с надёжностью и живучестью системы. Также как и надёжность, она зависит от времени, как живучесть она существенно зависит от размещения на технической системе технологического и другого оборудования. Но в отличие от последних она проявляется тогда, когда система в процессе её эксплуатации может приносить ущерб «большого» масштаба.

Центральным понятием безопасности, по нашему мнению, является опасное состояние, которое наступает при резком увеличении вероятности наступления аварии или катастрофы в результате угроз, носящих случайный или целенаправленный характер. Поэтому следует иметь в виду, что безопасность – это способность или свойство сложной системы функционировать, не переходя в опасное состояние. Опасность как свойство процесса или способность системы переходить в опасное состояние носит потенциальный характер. Она возникает как следствие многих причин, совпавших по времени их появления. Развитие аварийного процесса происходит под воздействием запасённой в объекте энергии в течение нормального технологического процесса. В качестве примеров в технологических процессах сложных систем можно отметить кинетическую энергию вращающихся с большой скоростью узлов агрегатов, энергию буровых вышек, электрическую энергию ёмкостных и индуктивных элементов электросетей и пр.

Количественную оценку опасности мы характеризуем риском. Риск – это величина ущерба, которая вычисляется как произведение стоимости потерь от неблагоприятного события на вероятность возникновения этого события с поправочным коэффициентом. Формально риск определяется по частоте появления того или иного ущерба или по вероятности реализации опасности, если величина ущерба при наступлении неблагоприятного события не имеет значения.

Первопричиной появления опасности является возникновение редкого, неожиданного события, в результате которого система быстро переходит в опасное состояние. Такое событие называется инициирующим событием. Однако появление инициирующего события ещё не приводит к потере безопасности. Ему должно предшествовать накопление дополнительных причин, создание определённых условий, являющихся причиной развития дальнейших событий, приводящих к наступлению аварии или катастрофы. Подробные условия, называемые инициирующими условиями, появляются в результате каких-либо неисправностей, дефектов, отказов оборудования или отклонений от номинальных процедур эксплуатационного процесса. Сами по себе инициирующие условия ещё не представляют угрозы, но при возникновении инициирующего события они играют решающую роль.

Инициирующие условия можно разделить на первичные и вторичные. К первичным относятся условия, связанные с конструкцией технических средств как сложной технической, выполняющей опасные работы и с обслуживающим персоналом (человеческим фактор). Вторичные условия появляются с развитием и усугублением аварии, следствиями которой являются выход из строя или повреждения технических средств, ограничения по их использованию и неправильные действия операторов при борьбе за живучесть из-за стрессовой ситуации или недостатка времени.

Инициирующие условия могут создаваться на всех стадиях жизненного цикла сложной технической системы: при функционировании, при техническом обслуживании и ремонте, а также во время длительного хранения.

Возникновение инициирующих событий и условий приводят к появлению опасной ситуации, которая характеризуется совокупностью инициирующих событий и условий в определённый момент времени. Развитие ситуаций во времени при благоприятных условиях (правильные действия операторов, восстановление работоспособности технических средств) может уменьшить опасность или, наоборот, при неблагоприятных условиях усугубить развитие аварии.

Причинно-следственный анализ возникновения аварийных ситуаций и угрозы для жизни людей в наиболее наглядной форме выполняется с помощью логического «дерева опасностей». При его построении могут рассматриваться различные уровни событий. При анализе той или иной проблемы в целом, с целью совершенствования эксплуатации, обычно от общих событий переходят к более детальным, и число этапов ветвления может быть небольшим. Для разработки отдельных мероприятий, обеспечивающих безопасность, составляют сценарий опасного состояния. В этом случае логическое «дерево опасностей» строят от инициирующих событий до опасного состояния, развивая его до конкретных событий и ситуаций. Сценарии опасного состояния

создаются с целью дальнейших расчётов показателей безопасности при проектировании сложных технических систем, как это предполагает логико-вероятностная теория безопасности [5].

Математическая модель эволюции системы

В процессе функционирования любой технической системы объективно имеют место проявления факторов, отрицательно влияющих на эффективность выполнения возложенных на неё задач. Такие факторы обусловлены конструктивно-производственными, эксплуатационными и внешними обстоятельствами. Первые из таких факторов влияют непосредственно на надёжность технических средств системы в процессе их проектирования и создания, вторые влияют на надёжность системы в процессе её эксплуатации, третьи приводят к изменению условий функционирования как средств, так и системы в целом.

В связи с этим система может находиться в текущих условиях в различных состояниях, в том числе и в состояниях, опасных для обслуживающего персонала и окружающей среды. Очевидно, при этом переходы системы из одного состояния в другое следует классифицировать как случайные события с неизвестным законом распределения вероятностей моментов времени их возникновения, а систему считать квазистационарной и обладающей свойствами наблюдаемости, идентифицируемости и управляемости [6,7].

В математическом плане эволюцию системы можно описывать конечно-марковским процессом с непрерывным временем и доходами в виде ожидаемой эффективности, которую система может обеспечить в произвольный текущий момент времени. Соответствующее исходное выражение, представляющее эволюцию эффективности системы, в пространстве состояний запишем в виде

$$\vartheta_i(t+\Delta t) = (1-\sum_{j>1}^{n} a_{1j}(t,s_{11},s_{1j})\Delta t)[s_{11}\Delta t + \vartheta_1(t)] + \sum_{j>1}^{n} a_{1j}(t,s_{11},s_{1j})\Delta t[s_{1j}+\vartheta_j(t)],$$

где s_{11} - интенсивность затрат на текущее обслуживание системы, находящейся в режиме нормального - штатного функционирования (здесь индекс 11 указывает на пребывание системы в состоянии 1 в нормальном режиме на промежутке времени Δt), s_{1j} - интенсивность затрат на проведение упреждающих регламентных работ для обеспечения не перехода системы в состояние $j \in [2,n]$ ненормального функционирования из режима нормального функционирования – 1,

$$1-\sum_{j>1}^{n} a_{1j}(t,s_{11},s_{1j})\Delta t$$

– вероятность того, что система будет находиться в состоянии 1 на промежутке времени Δt; здесь параметр $a_{1j}(t,s_{11},s_{1j})$ неизвестен, $\vartheta_1(t)$, $\vartheta_j(t)$ – эффективность системы, приходящаяся на единицу времени, когда система находится в режиме 1, или в состоянии $j \neq 1$ ненормального функционирования соответственно.

Очевидно (в силу свойства управляемости системы), интенсивностями s_{11}, s_{1j}, $j \in [2,n]$, можно и необходимо управлять и что они должны отражать полезность и безопасность эксплуатации системы.

Теперь запишем выражение для эволюции эффективности системы в пространстве состояний в форме дифференциального уравнения

$$\dot{\vartheta}_1(t) = (s_{11}-\sum_{j>1}^{n} a_{1j}(t,s_{11},s_{1j})\Delta t)\vartheta_1(t) + \sum_{j>1}^{n} a_{1j}(t,s_{11},s_{1j})[s_{1j}+\vartheta_j(t)],$$

с начальным условием $\vartheta_1(t_0) = \vartheta_{01}$.

Это линейное дифференциальное уравнение с переменными параметрами. К нему можно применить преобразование Лапласа и затем выписать выражение для основной характеристики – передаточной функции системы.

По выражению для передаточной функции достаточно просто выписываются обобщенные выражения для весовой, переходной и спектральных функций системы. Однако установить их инженерные выражения и выполнить на их основе конкретный анализ качества функционирования системы в текущих условиях не представляется возможным из-за невозможности получения конкретных функций $a_{1j}(t,s_{11},s_{1j})$ и s_{1j} до перехода системы в j -е состояние. Выявить такие функции для конкретной системы можно только на основе полных данных о ее реальных состояниях, переходах на них и соответствующих затратах s_{1j}, имевших место на всём установленном времени эксплуатации системы [8].

Имеется другой способ, эквивалентный предыдущему по конечному результату и опирающийся также на свойства наблюдаемости системы, когда последнее реализуется посредством измерений в пространстве сигналов и процессов на входе и выходе системы. Это способ, заключающийся в непосредственном восстановлении весовой, переходной и спектральной функций по текущим измерениям выходного процесса системы при известном заданном входном процессе. При этом измерения по выходу будут составлять конечную выборку отсчетов на отрезке времени $[t-T,t]$ контроля функционирования системы, где t – текущий момент времени. Этот способ есть ничто иное, как статистическая идентификация или, что по существу то же, как реализация свойств наблюдаемости и идентифицируемости системы. Причем идентифицируемости в общем случае, в условиях неопределенности относительно ее истинного состояния, а весовая, переходная и спектральная функции становятся основными определяющими характеристиками системы. Последние однозначно определяют качество и безопасность функционирования системы в текущих условиях. Действительно, если значения этих характеристик (а значит и показателей эффективности) соответствуют требуемым, то система находится в штатном (безопасном) режиме функционирования [9].

Оценки основных показателей безопасности

В математических терминах показатели безопасности запишем в виде следующих выражений:

$$\rho_1(K_в,K_н) = \frac{\sum_{i=0}^{N}|K_в(i)-K_н(i)|}{\rho_1(K_н)},$$

$$\rho_2(K_в,K_н) = \frac{\left[\sum_{i=0}^{N}|K_в(i)-K_н(i)|^2\right]^{\frac{1}{2}}}{\rho_2(K_н)},$$

$$\rho_3(K_в,K_н) = \frac{\max\limits_{0\le i\le N}|K_в(i)-K_н(i)|}{\rho_3(K_н)},$$

где $K_в = (K_в(t_0),\dots,K_в(t_N))$ – вектор вычисленных значений весовой функции динамической системы при реализации методов параметрической идентификации, $K_н = (K_н(t_0),\dots,K_н(t_N))$ - вектор номинальных значений весовой функции контролируемой системы на моменты времени $t_0,\dots,t_N$, в знаменателях указаны соответствующие нормы вектора $K_н$

$$\rho_1(K_н) = \sum_{i=0}^{N}|K_н(i)|,$$

$$\rho_2(K_н) = \left[\sum_{i=0}^{N}|K_н(i)|^2\right]^{\frac{1}{2}},$$

$$\rho_3(K_н) = \max_{0\le i\le N}|K_н(i)|.$$

Если значения ρ_1, ρ_2, ρ_3 удовлетворяют заданным условиям: $\rho_1 \le \Delta_1$, $\rho_2 \le \Delta_2$, $\rho_3 \le \Delta_3$, то система находится в нормальном режиме функционирования. Если же какое-либо одно из этих условий не выполняется, то система находится в предопасном режиме, а если все три условия не выполняются, то в опасном режиме.

Аналогичным образом записываются показатели безопасности при контроле системы и по другим характеристикам [10].

При использовании методов непараметрической идентификации контролируемые характеристики те-

кущего состояния системы представляются функциями на отрезке $[-T,T]$, а показатели безопасности записываются в виде

$$\rho_1(K_в,K_н)=\frac{\int_{-T}^{T}|K_в(t)-K_н(t)|dt}{\rho_1(K_н)},$$

$$\rho_2(K_в,K_н)=\frac{\left[\int_{-T}^{T}|K_в(t)-K_н(t)|^2dt\right]^{\frac{1}{2}}}{\rho_2(K_н)},$$

$$\rho_3(K_в,K_н)=\frac{\max\limits_{-T\le t\le T}|K_в(t)-K_н(t)|}{\rho_3(K_н)},$$

$$\rho_1(K_н)=\int_{-T}^{T}|K_н(t)|dt,$$

$$\rho_2(K_н)=\left[\int_{-T}^{T}|K_н(t)|^2dt\right]^{\frac{1}{2}},$$

$$\rho_3(K_н)=\max_{-T\le t\le T}|K_н(t)|.$$

При этом правило выбора решения о текущем состоянии системы остается по существу тем же, что и при контроле системы методами параметрической идентификации.

Заметим, что в пространстве сигналов система может описываться как линейной, так и нелинейной динамической моделью.

В силу изложенного, за основу идентификации системы принимается принцип непрерывного автоматизированного диагностического алгоритмического контроля функционирования средств и системы в целом, описываемый линейной или нелинейной динамической моделью, при имитации входных воздействий.

Под входным воздействием будем понимать модулированную по интенсивности (амплитуде) конечную последовательность или конечную совокупность широкополосных импульсных сигналов с одинаковой или различной длительностью, представляющую реализацию соответственно случайного потока с ограниченным последействием или случайного δ – коррелированного поля заданной пространственно-временной конфигурации. Каждый сигнал такой последовательности или поля есть результат аддитивного взаимодействия тестового сигнала с помехами естественного происхождения, сопутствующими функционированию системы.

Тестовый сигнал, как одномерный, так и двумерный, синтезируется в базисе ортогональных функций по критерию наилучшего приближения к возможному истинному входному сигналу в смысла минимума среднеквадратической ошибки.

Построение случайной последовательности осуществляется на ПЭВМ посредством установления для каждого сигнала момента времени его поступления на вход системы как реализации случайной величины с заданным законом распределения вероятностей и последующего формирования выборочных значений амплитуды и длительности тестового сигнала, а построение δ -поля осуществляется по заданной пространственно-временной конфигурации согласно следующему принципу: каждой пространственно-временной координате ставятся в соответствие два числа, одно из которых – выборочное значение амплитуды, а другое – длительность сигнала.

Выборочные значения принимаются как требования-ограничения при синтезе формы тестового сигнала [11]. Формирование таких значений осуществим в результате интегрирования дифференциального уравнения

$$\frac{d\xi(q)}{dq}=\frac{1}{f(\xi)} \qquad (1)$$

при $\xi(q)=0$, $q=0$ до значения q_3

$$q_3=\int_a^{x_3}p(x)dx-0.5,$$

где x_3 - реализация случайной величины от датчика случайных чисел, распределенных, например, по равномерному или нормальному законам - $p(x)$, $\xi=\lambda(q_3)$ - реализация случайной величины - амплитуды сигнала с требуемой плотностью распределения вероятностей $f(\xi)$ или $\xi=\theta(q_3)$ - реализация случайной величины-длительности сигнала с требуемой плотностью распределения вероятностей $\psi(\theta)$.

Сформированный таким образом тестовый сигнал поступает на вход функционирующей в реальных условиях системы, где он аддитивно смешивается с помехами естественного происхождения.

Уравнение (1) является (на этапе исследования алгоритмов оценки показателей безопасности) основой математического формирования и аддитивных помех как реализаций случайного процесса

$$x(t)=\varphi(t)\overset{\circ}{x}(t),$$

где $\varphi(t)$ - заданная неслучайная функция,

$$\overset{\circ}{x}(t)=\sqrt{R(0)}(\sin\lambda t+\gamma\cos\lambda t)$$

– неканоническое разложение центрированной случайной функции с корреляционной функцией $R(\tau)$, γ – случайная величина с произвольной плотностью распределения и единичной дисперсией.

Плотность распределения $f(\lambda)$ случайной величины Λ определяется выражением

$$f(\lambda)=\frac{1}{2\pi R(0)}\int_{-\infty}^{\infty}R(\tau)e^{-j\lambda\tau}d\tau. \qquad (2)$$

В общем случае корреляционная функция процесса $\overset{\circ}{x}(t)$ записывается в виде

$$R(\tau)=\sum_{k=1}^{nk}A_ke^{-\nu_k|\tau|}(\cos\beta_k\tau+B_k\sin\beta_k|\tau|)+\sum_{j=1}^{mk}C_je^{-\alpha_j|\tau|}, \qquad (3)$$

A_k, B_k, ν_k, β_k, C_j, α_j, nk, mk, $k=\overline{1,\,nk}$, $j=\overline{1,\,mk}$ - известные величины. Подставив выражение (3) в подынтегральное выражение (2) и взяв интеграл аналитически, получим

$$f(\lambda)=\left\{\sum_{k=1}^{nk}A_k\left\{\frac{\nu_k}{2\pi}\left[\frac{1}{(\beta_k+\lambda)^2+\nu_k^2}+\frac{1}{(\beta_k-\lambda)^2+\nu_k^2}\right]+\frac{B_k}{2\pi}\left[\frac{\beta_k+\lambda}{(\beta_k+\lambda)^2+\nu_k^2}+\frac{\beta_k-\lambda}{(\beta_k-\lambda)^2+\nu_k^2}\right]\right\}+\sum_{j=1}^{mk}C_j\frac{\alpha_j}{\pi\left(\lambda^2+\alpha_j^2\right)}\right\}\frac{1}{R(0)}.$$

Отметим, что изложенный метод формирования одномерных случайных величин и процессов применим при формировании входных воздействий для систем с сосредоточенными параметрами [12]. Для контроля систем с распределенными параметрами требуется моделировать двумерные случайные поля.

Формирование однородного поля основывается на использовании разложения функций в двумерный ряд Фурье, а неоднородного – на каноническом разложении случайных полей.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-29-03061-мк)

ЛИТЕРАТУРА

1. Zaden, L.A. Man and Cybernetics // IEEE Transactions on Systems, SMC-3, 1973, P. 28-44.

2. Северцев, Н.А., Бецков, А.В. Введение в теорию безопасности. - Москва: ВЦ им. А.А. Дородницына РАН. 2008. – 176 с.

3. Северцев, Н.А., Бецков, А.В. Системный анализ теории безопасности. – Москва: Издательство МГУ «ТЕИС», 2009. – 452 с.

4. Прокопьев, И.В. Живучесть системы управления группой роботов // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем, выпуск 19. Москва: ФИЦ ИУ РАН. 2017. С. 40-47

5. Гнеденко, Б.В., Беляев, Ю.К., Соловьев, А.Д. Математические методы теории надежности. Москва:Наука, 1965.

6. Рябинин, И.Н. Надежность, живучесть, безопасность систем. СПб., 2008.

7. Шипилов, В.В. Последовательная оптимизация базовых структур автоматизированных измерительных средств контроля. //Науч. Сб. ГНИИ (Эра), Люберцы, №82, 2010, С. 215-221.

8. Шипилов, В.В. Об одном методе классификации объектов контроля радиоэлектронного оборудования //Контроль. Диагностика, 2006, №7, с. 56-59.

9. Корбут, А.А., Филькинштейн, Ю.Ю. Дискретное программирование. Москва: Наука, 1969.

10. Шипилов, В.В. Об одном подходе к решению задач многокритериальной оптимизации базовых структур средств и систем контроля РЭО // Журнал контроль, диагностика, 2006, №6.

11. Северцев, Н.А., Бецков, А.В., Дарьина, А.Н. Разработка вероятностных критериев безопасного управления объектами специальной техники // Надежность и качество сложных систем. 2019. Т. 26. № 2.

12. Бецков, А.В., Прокопьев, И.В., Шевченко, В.Л. Аэромобильные комплексы для обеспечения безопасности // Труды международного симпозиума Надежность и качество. Пенза, Россия. 2019. Т. 1. С. 66-68.

УДК 519.712.7

Бабишин В.Д., Некрасов В.В.

АО «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна» Москва, Россия

МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА С МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ПО СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ДЛЯ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Для расширения комплекса задач изучения Земли из космоса методами дистанционного зондирования, необходимо, чтобы космический аппарат, как носитель различных приборов, удовлетворял широкому спектру требований, определяемых его назначением. Одним из таких требований является – возможность оперативного и точного наведения трасс съемки с космического аппарата на определенные районы для проведения частых наблюдений (таких как: стихийных бедствий, возгораний и т. д.).

С появлением радиационно-стойкой микроконтроллерной техники появились новые возможности в управлении двигателя-маховика, используемого в качестве исполнительного органа в системах ориентации и стабилизации космических аппаратов. Интеграция в схему двигателя-маховика микроконтроллерного управления позволила не только существенно увеличить качество ряда технических характеристик изделия, но и пополнить двигатель-маховик новыми функциональными возможностями, на базе которых реализована новая методология управления двигателя-маховика в режиме управления скоростью вращения ротора для высокодинамичных космических аппаратов. Данная методология была создана в рамках диссертационной работы на тему «Микроконтроллерная система управления двигателя-маховика для высокодинамичных космических аппаратов» и включила в себя концепцию управления двигателя-маховика по критериям эффективности быстродействия и точности отработки требований по частоте вращения ротора, которая позволила обеспечить возможность оперативного и точного наведения трасс съемки с космического аппарата на новом качественном уровне.

Ключевые слова:

МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ, ДВИГАТЕЛЬ-МАХОВИК, МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, ВЫСОКОДИНАМИЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Введение

На фоне возрастающего интереса применения микро-, мини- и малых спутников в космонавтике [1, 2, 3] интерес к использованию двигателей-маховиков (ДМ) не уменьшается, а требования к улучшениям технических характеристик только увеличиваются [4, 5]. С появлением радиационно-стойкой микроконтроллерной (МК) техники появились новые возможности в управлении ДМ, а, следовательно, и космическим аппаратом (КА). Интеграция в схему ДМ МК-управления (ДМ-МК) позволила не только существенно увеличить качество ряда технических характеристик ДМ, но и пополнить ДМ новыми функциональными возможностями, на базе которых реализована новая методологию управления ДМ-МК.

Данная методология включает высокоточное управление по кинетическому моменту ($М_к$) ДМ-МК. Величина $М_к$ ДМ характеризуется значением массы вращения, распределением этой вращающейся массы относительно оси вращения и скоростью данного вращения. Так как значения массы и распределения ее относительно оси вращения обусловлено конструкцией применяемого ДМ, то значения этих величин в данной работе считаем константами. Следовательно, методология управления по $М_к$, рассматриваемая в данном материале предполагает МК-управление по скорости вращения ротора ДМ (данная терминология применена далее по тексту).

Структура методологии управления ДМ-МК по скорости вращения ротора для высокодинамичных КА

В процессе диссертационной работы на тему: «Микроконтроллерная система управления двигателя-маховика для высокодинамичных КА» была создана методология, структурная схема которой представлена на Рисунке 1.

Данная методология имеет два уровня: теоретический и эмпирический. Теоретический уровень включает: принципы, понятия, подходы и теории управления ДМ-МК по скорости вращения ротора для высокодинамичных КА, исследуемые в диссертационной работе. Общие принципы методологии управления ДМ представлены, как управление электромеханическими исполнительными органами для систем ориентации и стабилизации высокодинамичных КА. Данное управление предполагает отработку требуемых угловых маневров (крена, тангажа и рысканья) за минимальное время с высокоточной стабилизацией собственных угловых скоростей вокруг центра масс КА (Рисунок 2)

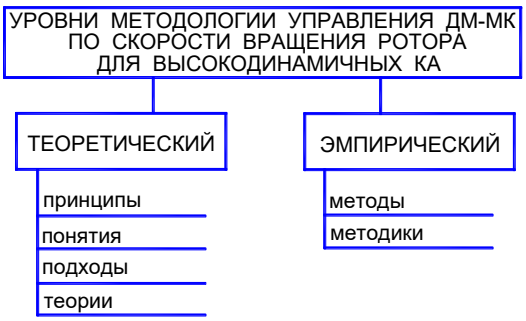


Рисунок 1 – Структура методологии управления ДМ-МК по скорости вращения ротора для высокодинамичных КА

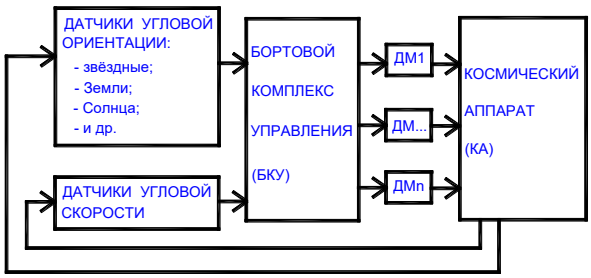


Рисунок 2 – Функциональная схема системы ориентации и стабилизации КА с системой ДМ

Управление по скорости вращения ротора ДМ предполагает исключения из функции управления бортового комплекса управления (БКУ) КА [6] контроля за значениями моментов сопротивления ($М_с$) каждого ДМ системы ориентации и стабилизации КА (Рисунок 2). $М_с$ обусловлен нелинейностью и может достигать во всем диапазоне скоростей вращения ротора ДМ за время эксплуатации изделия значений близких 50%, поэтому его исключение существенно влияет на упрощение функции управления, формируемой БКУ КА.

Вводом в схему МК-системы управления по скорости вращения ротора ДМ удалось решить задачу

высокоточной стабилизации скорости вращения ротора ДМ, что привело к исключению тормозных моментов, формируемых ДМ, вызванных трением подшипников, вязкостью смазок, термальных процессов в конструкции ДМ и т. д. в течение всего срока жизни изделия.

Понятия теоретического уровня методологии включают следующие понятия: цели, объекта, предмета, теоретических методов исследования.

Целью является исследование и создание методологии управления ДМ-МК в режиме управления скоростью вращения ротора для высокодинамичных КА.

Объектом исследования является прототип электропривода ДМ, выполненный на базе бесконтактного электродвигателя постоянного тока с интегрированным в его схему узлом МК-управления.

Предметом исследования является анализ способа МК-управления ДМ в режиме управления скоростью вращения ротора для высокодинамичных КА.

Методы исследования, примененные при создании методологии, включают следующие методы: системного анализа, исследований операций, теории принятия решений, дискретной оптимизации, математического программирования, искусственного интеллекта и экспертных систем, информационных систем и технологий, статистической обработки, теории отношений и графов, теории автоматического управления, теории интегральных и дифференциальных уравнений, линейной и булевой алгебры, а также теории электрических машин и электропривода.

Примененные подходы исследования основаны на соблюдении созданной концепции управления основанной на обеспечении получения необходимой географической привязки различных измерений проводимых КА ДЗЗ (таких как: спектрозональная измерительная информация), а также, обеспечения минимального искажения, получаемых изображений (таких как: изображения подстилающей поверхности Земли в различных областях спектра электромагнитных волн), КА должны иметь высокую точность ориентации в орбитальной системе координат и стабилизации собственных угловых скоростей аппарата вокруг центра масс. Точность ориентации и стабилизации КА, должна быть тем выше, чем выше пространственная разрешающая способность аппаратуры ДЗ и требования географической привязки. Особое внимание должно быть уделено динамическим характеристикам КА с тем, чтобы не допускать некомпенсированных возмущающих моментов при съемке или измерениях.

Концепция создания МК-системы управления ДМ-МК в режиме управления по скорости вращения ротора ориентирована на обеспечение характеристик ДМ-МК, как исполнительных органов системы ориентации и стабилизации высокодинамичных КА. Эта концепция подразумевает осуществление максимально допустимого быстродействия вращения КА вокруг центра масс, и его высокоточную стабилизацию за минимальное время. Таким образом все режимы управления высокодинамичным КА, обеспечиваемые системой ориентации и стабилизации КА, можно разделить по двум критериям эффективности:

- критерий быстродействия выполнения угловых маневров КА;
- критерий точности обеспечения требований по допустимому отклонению частоты вращения ротора в режиме управления по скорости вращения ротора ДМ-МК.

Благодаря использованной теории различных научных дисциплин построена математическая модель и найдена функция управления ДМ-МК в режиме управления по скорости вращения ротора для высокодинамичных КА.

С помощью системного анализа, базирующегося на теории отношений и графов [7] было проведено исследование ДМ-МК, как системы. По итогам данного исследования был построен функциональный ориентированный граф отработки новой требуемой скорости вращения ротора (V_{req}) ДМ-МК для высокодинамичных КА (Рисунок 3).

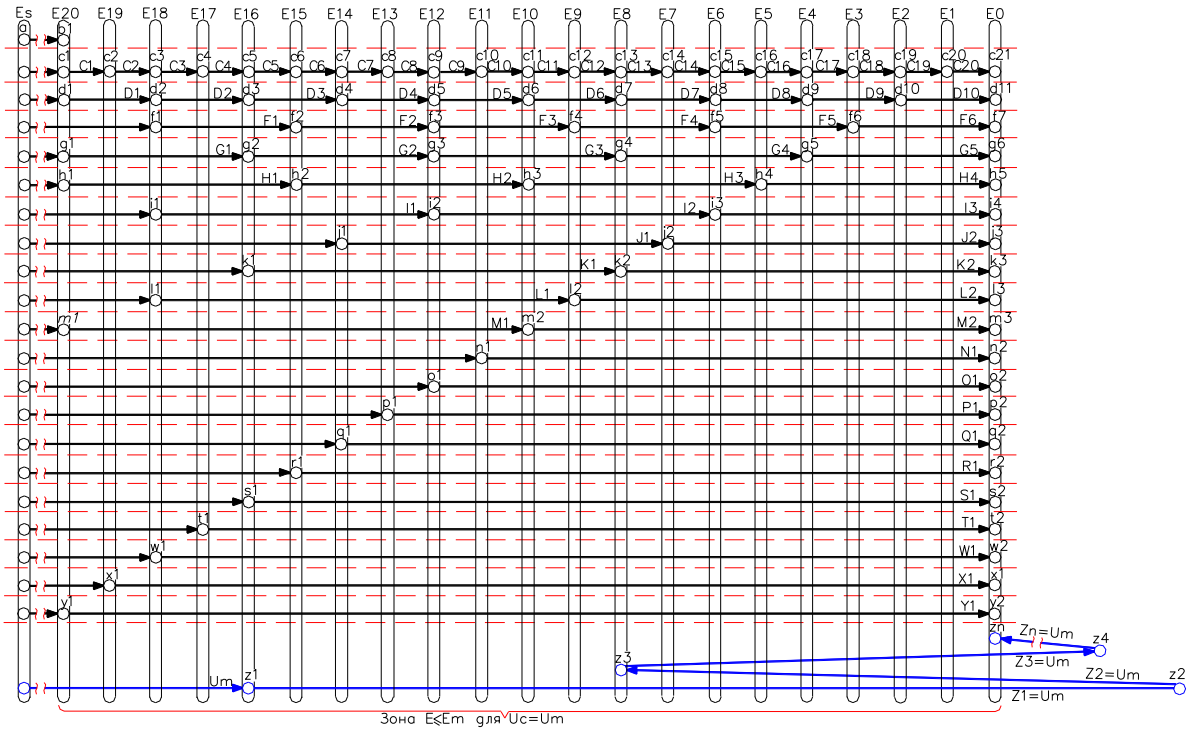


Рисунок 3 Функциональный ориентированный граф отработки новой требуемой скорости вращения ротора ДМ-МК

Результатом анализа, проведенного с помощью ориентированного графа методом декомпозиции были определенны слагаемые этапы функции управления (Рисунок 4) и выявлены критерии эффективности решения каждого этапа. Согласно теоретическому подходу созданной методологии, ориентированному на концепцию управления высокодинамичными КА были найдены функции управления декомпозиционных слагаемых этапов.

При этом были использованны следующие законы регулирования и методы решений:

Этап 1 был решен с помощью двухпозиционного закона регулирования.

Этап 2 был решен с помощью численного модифицированного метода Эйлера.

Этап 3 был решен с помощью математического метода наименьших квадратов и пропорционально - интегрального закона регулирования [8].

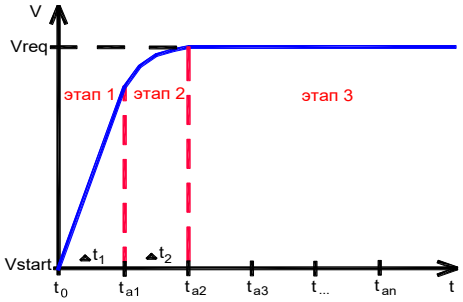


Рисунок 4 Этапы выхода и стабилизации новой требуемой скорости вращения ротора ДМ-МК

Также благодаря использованной теории различных научных дисциплин были созданы ряд необходимых методик, в том числе методика компенсации M_c для всего рабочего диапазона скоростей вращения ротора путем загрузки в интегральное звено ПИ-регулирования начального значения интеграла из адаптивной таблицы кодов компенсационных значений M_c, всего диапазона возможных V_{req} [9].

Эмпирический уровень включил в себя: методы (натурные испытания) и методики экспериментальной проверки изысканий теоретического уровня методологии управления ДМ-МК по скорости вращения ротора для высокодинамичных КА. Были представлены необходимые сигналы обмена между БКУ КА и ДМ-МК в режиме управления по скорости вращения ротора (Рисунок 5) [10, 11], согласно созданной методологии.

Рисунок 5 Сигналы обмена между БКУ КА и ДМ-МК в режиме управления по скорости вращения ротора

По итогам проделанной работы, для натурных испытаний, был создан прототип ДМ-МК (Рисунок 6).

Найденная, в диссертационной работе, функция управления ДМ-МК в режиме управления по скорости вращения ротором для высокодинамичных КА была реализована в ПО ДМ-МК, с помощью языка программирования – Assembler [12, 13]. Данное ПО ДМ-МК было запрограммировано в постоянное запоминающее устройство и интегрировано в схему прототипа ДМ-МК.

Натурные испытания осуществлялись с помощью комплекта проверочной аппаратуры (КПА), разработанного в АО «Корпорация «ВНИИЭМ» (Рисунок 7). Данный КПА представляет собой рабочее место, в составе которого на персональном компьютере установлено специальное программное обеспечение (ПО-КПА). КПА с ДМ-МК подключается с помощью специальных согласующих плат по мультиплексному каналу обмена (МКО) информацией, интерфейс которого выполнен согласно ГОСТ 52070-2003 [14]. КПА симулирует работу БКУ КА и обеспечивает формирование и передачу по МКО пакетов информации, в состав которых входят необходимые сигналы обмена для отработки режима управления по скорости вращения ротора (Рисунок 5).

Рисунок 6 - Прототип ДМ-МК (без защитного кожуха), установленный на кронштейне

Рисунок 7 - Натурные испытания ДМ-МК

Натурные испытания подтвердили адекватное применение, для решения поставленных задач, теоретических методов и доказали работоспособность созданной методологии управления ДМ-МК по скорости вращения ротора для высокодинамичных КА.

В настоящее время методология управления ДМ-МК по скорости вращения ротора внедрена в несколько работ ведущихся в АО «Корпорация «ВНИИЭМ».

ЛИТЕРАТУРА

1. Макриденко Л.А., Волков С.Н., Ходненко В.П. Концептуальные вопросы создания и применения малых космических аппаратов. - М.: Труды ВНИИЭМ. – 2010. – Т.114. – С. 15-26.

2. Лукьященко В.И., Саульский В.К., Шучев В.А. Международные тенденции создания и эксплуатации малых космических аппаратов. - III Международная конференция – выставка « Малые спутники» 27 – 31 мая 2002. г. Королев, Моск. обл. ЦНИИМАШ. – Кн. 1.

3. Пичурин Ю.Г. Анализ состояния работ по МКА наблюдения и возможностей использования их в интересах мониторинга природной среды. – М.: Труды НИИ космических систем. – 2000.

4. Патраев В.Е., Максимов Ю.В. Методы обеспечения надежности бортовой аппаратуры космических аппаратов длительного функционирования. – г. Железногорск: Изв. ВУЗОВ. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. – 2008. – Т.58 №8

5. Урличич Ю.М., Данилин Н.С. Управление качеством космической радиоэлектронной аппаратуры в условиях глобальной открытой экономики. – М.: Макс ПРЕСС, 2003.- 204 с.

6. Баженов, А. В. Основы бортовых вычислительных машин. - 2-е изд., перераб — Ставрополь: СВВАИУ (ВИ), 2008.

7. Зыков А.А. Основы теории графов. – М.: «Вузовская книга», 2004. – С. 664. – ISBN 5-9502-0057-8.

8. Клячкин В.Н., Карпунина И.Н. Статические методы оценки стабильности функционирования технических систем. – Пенза: «Надежность и качество сложных систем», 2018 №2 – С. 36 – 42.

9. Ванцов С.В., Халявина А.А. Анализ методологий контроля и диагностирования сложных электронных устройств. – Пенза: «Надежность и качество сложных систем», 2018 №3 – С. 115 – 123.

10. Некрасов В.В. Протокол обмена по МКО между БВМ и ДМ. ОАГ.128153 - М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2019. - 19 с.

11. Некрасов В.В. Протокол обмена по МКО между КСО и ДМ. ОАГ.128106 (редакция 2). - М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2019. - 19 с.

12. Eight-Bit 80C51. Embedded Processors. Advanced Micro Devices. 1990 Data Book. – 1989.

13. Сташин В.В., Урусов А.В., Мологонцева О.Ф. Проектирование цифровых устройств на однокристальных микроконтроллерах. – М.: Энергоатомиздат. – 1990. – 224 с.

14. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования.

УДК 621.318

Афанасьев М.Е., Марченко В.В., Суряев Е.С

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПЕРЕДАЧЕ ИНДУКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Индуктивная передача энергии (IPT) превратилась в систему распределения электроэнергии, предлагающую значительные преимущества в современных системах автоматизации и особенно в жестких условиях. В этой статье рассматривается разработка простых систем IPT для автоматизации производства для современных сложных задач, а также для решения гораздо более сложных задач - магистрали IPT. В основе всех технологий IPT лежат две сильно связанные катушки, работающие на резонансе для эффективной передачи энергии.

Ключевые слова:

ИНДУКТИВНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ (IPT), ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА, РАБОТАЮЩИЕ НА ДОРОГАХ, МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС С СИЛЬНОЙ СВЯЗЬЮ, СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДКИ

Введение

Индуктивная передача энергии (IPT) впервые была предложена вскоре после того, как Ампер и Фарадей предложили свои законы, которые стали основой электротехники. После этого наиболее значительный прогресс был достигнут Теслой, который продемонстрировал значительную передачу мощности на частотах переменного тока с использованием высоко резонансных настроенных катушек [1], [2]. Однако средства, с помощью которых такая сила могла быть передана при низких затратах, оставались проблемой, которую было трудно преодолеть с помощью тех технологий. Таким образом, IPT считалось нежизнеспособным в течение некоторого времени, и на фоне неверия только в конце двадцатого века появились реальные коммерческие системы IPT. IPT включает в себя соединение двух или более катушек: при соединении ток в одной катушке вызывает индуцированное напряжение в другой, следовательно, при правильных условиях это напряжение может использоваться для питания некоторого приложения, и в этих обстоятельствах мощность передается по индукции от одной катушки другому без физического контакта. Такая передача энергии чистая, не подвержена воздействию химикатов или грязи и способна революционизировать многие производственные процессы.

Ранние коммерческие системы IPT нашли применение на автосборочных предприятиях, где была высоко оценена устойчивость к окраске и сварочным испарениям, а также в через кожных медицинских устройствах [3]. В производственных приложениях одна первичная цепь была способна управлять множеством вторичных цепей, используя новые контроллеры развязки, которые могли включать и выключать вторичную цепь датчика, не устанавливая нагрузку VAR на первичную цепь. Системы IPT, тем не менее, действительно нашли свое применение с плоскими жидкокристаллическими дисплеями и компьютерными микросхемами производства чистых заводских автоматов (CFA) в строго чистых условиях и с более высокой производительностью, чем любая конкурирующая технология. Эта технология продолжает развиваться и включает более крупные и мощные системы, работающие в сложных условиях во всем мире.

Возможно, самая большая проблема для систем IPT сегодня - это транспортировка как общественных, так и частных транспортных средств по сетям железных и автомобильных дорог во всех странах мира. IPT предлагает возможность электропитания этих транспортных средств с помощью электрических проводов под землей, чтобы обеспечить средства питания, зарядки и выравнивания для автомобилей, автобусов и поездов путем магнитного подключения питания непосредственно в площадку, размещенную под автомобилем. Если передача энергии осуществляется с помощью стационарного транспортного средства и аккумулятора, это называется беспроводной зарядкой электромобиля с аккумулятором (BEV), и за последнее десятилетие развитие здесь ускорилось; если это достигается во время движения, это называется динамическим питанием, и хотя концепции были разработаны в начале 70-х годов, только недавно этому вновь стали уделять повышенное внимание, отчасти из-за развития стационарной зарядки и готовность автопроизводителей поддержать эту технологию. BEVs теперь бросают вызов автомобилям с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) во всех применениях транспортных средств в нашем обществе, кроме диапазона; Динамически заряженный электромобиль (EV) будет конкурировать с транспортными средствами ICE во всех аспектах производительности, кроме первоначальной стоимости покупки:

они чище, тише и эффективнее, а при соответствующей структуре проезжей части они могут иметь неограниченную дальность действия [40]. Устройства BEV могут работать с подключенным зарядным устройством или с индуктивной зарядкой: автомобили с динамическим питанием могут работать только с IPT-каналом, и именно развитие этой линии является перспективным для электромобилей в будущем. IPT - это технология того времени, полностью зависящая от последних разработок в области магнитных материалов: провод с изоляцией, встроенные контроллеры и особенно силовая электроника.

В этой статье рассматриваются основные элементы, необходимые для разработки мощных систем IPT, и даются комментарии по ключевым показателям, которые необходимо учитывать, включая безопасность, утечку в полевых условиях и отопление.

Элементы системы IPT

Простая система IPT показана на рисунке-1. Она состоит из следующего:

1) источник питания, который получает электроэнергию от сети или от аккумулятора;

2) удлиненная дорожка, которая приводится в действие источником питания, посредством чего ток в дорожке вызывает магнитное поле, которое следует за дорожкой;

3) датчики на или вдоль дорожки, которые перехватывают часть магнитного поля и преобразуют это перехваченное поле в контролируемое электричество;

4) электрические нагрузки, которые могут быть вызваны этим электричеством.

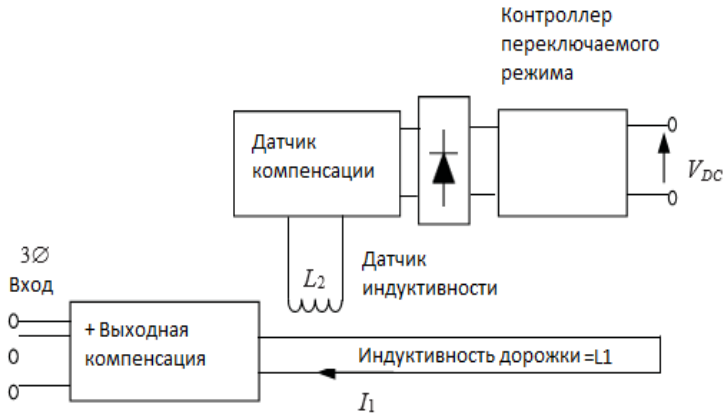


Рисунок 1-схема ITP

Все эти аспекты важны, но некоторые по сути самоочевидны. Существует очень большое количество цепей электропитания, которые могут использоваться в системе IPT, но все они достигают одинаковых выходов с разной выходной частотой, эффективностью и надежностью, однако современные источники IPT обычно предпочитают источники питания с управлением по току с единым целым. коэффициент мощности и с контролируемой частотой [3]. Частота должна быть общесистемной, но другие атрибуты будут зависеть от стоимости и доступности. В треке обычно используется высокочастотный литц-провод для поддержки магнитного поля. Провод, ток, частота и расстояние между проводами постепенно становятся объектом международных стандартов - в проводах FA 80/125-A, разнесенных на 100 мм друг от друга, работающих на частоте 20 кГц, являются промышленным стандартом. Датчики (магнитные сцепки) могут работать на полу или на монорельсовых железных дорогах, управляемых сигналами, наложенными на провода, или передаваемых отдельно [5].

В других аспектах может быть значительная свобода в разработке систем IPT, особенно в схемах датчиков, их защите, контроллерах, электрических схемах. Однако наиболее гибкой характеристикой является, вероятно, магнитные цепи и то, как они связаны.

Выравнивание муфты и температура окружающей среды варьируются. С этой целью значительное усилие при разработке систем IPT заключается в увеличении k за счет улучшения магнитных конструкций, где k- это коэффициент магнитной связи. Простые катушки, намотанные вокруг ферритового сердечника, имеют поток с обеих сторон соединителя - поток с лицевой стороны никогда не может соединяться с другим соединителем, поэтому разрабатываются новые топологии соединителя, где обратный поток отсутствует. Пути потока формируются аттракторами (ферриты) и испарителями (алюминий или медь). Комбинации феррита и меди могут значительно улучшить геометрию пути потока, давая значительное увеличение k, а также уменьшить другие пути утечки.

Магнитные компоненты в системах IPT

Системы IPT используют два или более магнитных соединителя для передачи энергии от одной системы отсчета к другой. Как отмечалось выше, при обсуждении уравнения мощности, пожалуй, наиболее важным фактором в системе IPT является коэффициент магнитной связи k и методы, которые увеличивают k, приводят непосредственно к системам, которые могут передавать мощность более эффективно, чем другие. Однако может иметь место снижение стоимости, так как магнитные материалы, такие как феррит, дороги и хрупки, и в условиях, когда требуется большая боковая устойчивость к смещению, стоимость может быть чрезмерной. Когда речь идет о малой мощности, магнитный материал может быть опущен, а звукосниматели могут быть магнитно связаны через воздух. Требуемый Q2 может быть выше (Q2- коэффициент электрического качества нагруженной вторичной цепи), а эффективность ниже, но система оправдана своей стоимостью. Начиная с самых ранних систем, всегда существует баланс, такой как этот, для достижения некоторого показателя производительности. Отто в 1973 году, например, предложил систему для питания электромобиля с помощью воздушной сердцевины на> 300 мм над поверхностью дороги с использованием первичной цепи из двух медных трубок, утопленных в дороге, каждая с током 2000 А при 10 кГц. Система никогда не была построена, но избегала использования феррита, поскольку это было бы чрезмерно дорого. Сегодня это решение было бы неприемлемым, поскольку выбросы от него были бы слишком высокими, но с того времени различные решения проблемы передачи энергии продолжали оставаться инновационными в широком спектре приложений. В начале 1990-х годов монорельсовый конвейер для FA использовал IPT на частоте 10 кГц с током дорожки 80 А, используя два провода на расстоянии 100 мм, установленном рядом с алюминиевой балкой I, которая была основой монорельса. Здесь первичный элемент находится в основном в воздухе (около стенки I-образного пучка), а вторичный элемент использовал ферритовые E-сердечники с обмоткой из литц-провода, чтобы каждый собирал 1,5 кВт от первичного эле-

мента при его перемещении. Это эффективная система, использующая различную магнитную структуру на каждом конце муфты, и она уникальна тем, что включает систему управления, которая позволяет регулировать отдельные конвейеры без ущерба для других конвейеров на той же дорожке.

В модификации для этого использовался тот же контроллер, но два провода горизонтально смещены в воздухе с токами по 80 А каждый, с частотой 10 кГц, а датчики, изготовленные из феррита в горизонтальной H-форме, подхвачены, используя катушку с проводом Литца. Поперечная планка H. Эта система позволяла переключать один из силовых проводов, следовательно, несущая могла переходить с одной дорожки на другую при половинной, но постоянной мощности, и вскоре она стала важным элементом конвейерных систем IPT в системах CFA. В FA системы IPT выбраны за их устойчивость к загрязнению в сварочных отсеках и окрасочных цехах; в ситуациях CFA системы IPT выбираются из-за их чистоты и применения без остатка. Пикапы в этих и других фабричных приложениях были широко названы в соответствии с буквой латинского алфавита, которая наиболее напоминала их - например, I, E и H - но были предложены и другие формы - например, асимметричный датчик S сложно установить, но дает почти вдвое больше доступной мощности, чем симметричный датчик E при той же стоимости материала. Особенностью всех этих звукоснимателей было то, что они работали с относительно небольшими воздушными зазорами и хорошими коэффициентами сцепления при высокой эффективности. Однако по мере развития технологии и ее приложений эти идеальные условия работы становились все более напряженными. В напольных системах использовались два провода на расстоянии 100 мм друг от друга, погруженные под 10 мм бетона, каждый с током 125 А при 20 кГц. В своей примитивной форме они использовали плоский датчик E для достижения коэффициентов сцепления в пределах 50% от тех, которые достижимы с монорельсом. В монорельсовых приложениях зубья на датчиках E и H могут окружать колею до 270 °. Напольные датчики не могли обойти даже до 180 °, давая низкую выходную мощность, но они могли определять положение провода под бетонным полом и использовать эту информацию для навигации по заводу. Кроме того, в новом нововведении можно добавить дополнительные катушки к плоскому ферриту E, превратив его в квадратурный датчик, где значительно улучшены как профиль мощности, так и устойчивость к рассогласованию: в примитивном плоском E мощность подхвата обычно составляла 1 кВт при смещении 25 мм с воздушным зазором 10 мм; Напольные датчики, тем не менее, постоянно заряжают всю гусеницу, и, поскольку это может достигать 300 м, это создает большую площадь на заводе, закрытую для персонала. Верхние монорельсы имеют колею высотой 3,4 м, что делает их по сути безопасными, но не пригодными для электромобилей.

В конструкции соединители хрупкие, и необходимо найти средства для защиты катушек от повреждений. Защита обычно влечет за собой упаковку катушек в мягкие пластмассовые или резиновые материалы.

Управление системой IPT

Управление потоком мощности в системах IPT является проблемой, характерной практически для всех систем IPT. В принципе, доступны три варианта, и выбор наилучшего может повлиять на эффективность на 10-20% следующим образом:

1) вторичный боковой контроль;

2) первичная сторона управления;

3) комбинированный контроллер, влияющий как на первичный, так и на вторичный.

В ранних коммерческих применениях индуктивной передачи энергии целью было объединение питания с несколькими нагрузками, работающими от одной дорожки. Таким образом, наиболее распространенным подходом управления является вторичное боковое управление, где ток и частота дорожки поддерживаются номинальными постоянными, и каждая вторичная обмотка независимо регулирует свою мощность в соответствии с нагрузкой [3]. Этот тип управления существенно отличается от Q2, и это достаточно эффективная система, где ток дорожки должен поддерживаться всегда, даже при отсутствии передачи энергии. В таких случаях важно, чтобы вторичное устройство оставалось настроенным так, чтобы наименьшее возможное значение Q2 могло использоваться для доставки требуемой мощности.

Для приложений зарядки, где есть один источник питания для каждой связанной нагрузки, есть тенденция работать, используя только первичное боковое управление. Это влечет за собой регулирование как первичного тока в магнитной катушке, так и частоты (при желании) для регулирования вторичной обмотки, которая обычно имеет только простой выпрямитель и фильтр. Как следствие, может быть значительное повышение эффективности при небольшой нагрузке по сравнению с чисто вторичным управлением, но беспроводная линия связи между первичным и вторичным устройствами необходима для обеспечения безопасного регулирования мощности. Однако, как правило, вторичному устройству также необходим защитный выключатель для отключения питания в случае сбоя системы, когда обнаруживается, что слишком много энергии подключено - в таких случаях возможно сочетание комбинации управления первичной и вторичной стороны без значительного увеличения стоимости. Первичное боковое управление само по себе нежелательно в системах обработки материалов с несколькими звукоснимателями, учитывая, что это будет изменять передачу мощности на все датчики одновременно и будет проблематичным при работе, поскольку вторичному устройству, требующему больше мощности, придется значительно увеличить свою рабочую Q2, и увеличить его потери. Это увеличение на практике ограничено потерями в каждом из компонентов в резонансном резервуаре, и, как таковое, оно может быть не в состоянии обеспечить необходимую мощность.

Контроллер, который может варьировать как ток дорожки, так и вторичный Q2, так что потери на первичной стороне равны суммарным потерям на всех контроллерах вторичной стороны, обеспечивают лучшую систему из всех. Это полезно как для обработки материалов, так и для зарядки. В случае погрузочно-разгрузочных работ при слабонагруженных условиях ток дорожки может быть низким, и небольшое количество датчиков будет работать при высоком Q2 для получения мощности, при условии, что ток дорожки остается достаточно высоким, чтобы обеспечить подачу энергии. В условиях большой нагрузки можно использовать больший ток дорожки, чтобы звукосниматели работали эффективно при низком значении Q2. Для приложений зарядки было показано, что эффективность может быть улучшена с помощью комбинации обоих контроллеров для работы в широком диапазоне нагрузок при> 90%. Некоторые контроллеры осуществляют управление, просто позволяя изменять частоту, а затем выбирают вариант 1, 2 или 3. Эти системы с переменной частотой могут повысить эффективность, будучи идеально настроенными, но их трудно использовать в ситуациях с несколькими датчиками, когда датчики настроены на разные частоты. Другие варианты включают перенастройку системы с использованием дополнительных механизмов коррекции VAR на первичной или вторичной стороне [3], однако эти системы часто громоздки и дороги, что также нежелательно. Для динамических IPT-проезжей части дороги явно нет времени на перенастройку, и поэтому предпочтительным является вариант варианта 3, в котором ток дорожной накладки задается для потребности транспортного средства в мощности и вторичной обмотки.

Для стационарных зарядных EV-систем в настоящее время проводятся значительные исследования в отношении средств, позволяющих нагрузкам EV работать в качестве управляемой нагрузки в интеллектуальной сети. Это особенно желательно, учитывая, что было показано, что электромобили

EV уравновешивают имеющиеся природные, но изменчивые источники, такие как ветер, волна и солнечная энергия.

Вывод

В этой статье рассмотрена задача, стоящая перед созданием недорогих электромобилей с индуктивно-связанной передачей, работающих в жестких условиях, которые по сравнению с современным 15-летним периодом требуют в 10–100 раз больших зазоров и допусков для аналогичной или более высокой эффективности. Здесь традиционная технология круглых прокладок ставится под сомнение поляризованными прокладками, дающими большую высоту и универсальность. Доступны различные такие прокладки, предлагающие варианты, которые могут взаимодействовать друг с другом и с круглыми прокладками без существенной потери мощности или эффективности. Более современные поляризованные колодки и их комбинации могут использоваться для стационарной зарядки (BEV) или динамической зарядки (EV) без ограничений, поэтому электромобили EV на дороге могут получать питание с высокой эффективностью от возобновляемых источников энергии или любых других источников при их движении. Для этого потребуется создание комплектов прокладок, которые могут прослужить на дороге 30 и более лет и продолжать эффективно работать в течение всего срока службы, несмотря на изменения в технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. Tesla, “Apparatus for transmitting electrical energy,” U.S. Patent 1 119 732, Dec. 1, 1914.

2. S. Y. R Hui, W. X. Zhong, C. K. Lee, “A critical review of recent progress in mid-range wireless power transfer,” IEEE Trans. Power Electron.,2013, DOI: 10.1109/TPEL.2013.2249670.

3. G. A. Covic and J. T. Boys, “Inductive power transfer,” Proc. IEEE, vol. 101, no. 6, pp. 1–14, Jun. 2013.

4. J. M. Barnard, J. A. Ferreira, and J. D. van Wyk, “Sliding transformers for linear contactless power delivery,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 44, no. 6, pp. 774–779, Dec. 1997.

5. J. Meins, “Contactless power supply for transport systems,” in Proc. Conf. Rec. MAGLEV, 1998, pp. 268–273.

УДК 317.314

Михеев[1] М.Ю., Батова[1] В.Н., Волков[2] А.Г.

[1]ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», Пенза, Россия

[2]ФГБОУ ВО «Московский университет им.С.Ю.Витте», (Пензенский филиал), Пенза, Россия

ТЕХНОЛОГИИ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ» В СОВРЕМЕННОМ АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Опережающее развитие российского агропромышленного комплекса предполагает широкое внедрение цифровых технологий. Управление цифровым агробизнесом предполагает применение большой номенклатуры сенсорных устройств размещаемых в поле, на ферме, на элементах агротехники, а также информации получаемых с метеорологических станций, дронов, спутников, партнерских платформ, поставщиков. Существенное увеличение объема обрабатываемых данных, усложнение их структуры вызывает необходимость применения современных технологий их обработки для получения и достоверных аналитических результатов, для принятия управленческих решений.

В данной статье проведено аналитическое обобщение практического опыта внедрения в российский агробизнес элементов технологий «Интернета вещей».

Ключевые слова:

ЦИФРОВИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ, ЭЛЕМЕНТЫ IOT, ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ КАРТЫ, ОЦИФРОВАННАЯ ФЕРМА, СИТУАЦИОННЫЙ ЦЕНТР

Вводная часть и новизна

Рыночная парадигма обуславливает поведение инвесторов, направленное на скорейший возврат капитала с достаточной нормой прибыли и невысоким риском [1]. С позиций инвесторов сельскохозяйственная отрасль экономики была мало привлекательной, в первую очередь, из-за непредсказуемости погоды, больших рисков неурожая, а, следовательно, невозможностью спрогнозировать сумму возврата вложенного капитала. Это являлось главной причиной их низкого интереса к ней.

Кроме этого, в данной отрасли сложно автоматизировать биологические процессы, внедрять инновации, добиваться роста производительности труда, выстраивать алгоритмы действий.

Ускорение научно-технического прогресса, в первую очередь, цифровизация процессов мировой экономики, привело к тому, что в последнее время на сельское хозяйство обратили внимание технологические компании, которые научились контролировать полный цикл растениеводства или животноводства за счет умных устройств, передающих и обрабатывающих текущие параметры каждого объекта и его окружения, а также бесшовных каналов коммуникаций между ними и внешними партнерами.

Появились возможности объединения этих умных устройств в единую сеть, способную обмениваться и управлять данными на основе Интернета вещей. При этом, возросла производительная мощность компьютеров, стали стремительно развиваться программное обеспечение и облачные платформы. Именно эти факторы позволили автоматизировать максимальное количество сельскохозяйственных процессов за счет создания виртуальной (цифровой) модели всего цикла производства и взаимосвязанных звеньев цепочки создания стоимости. Теперь можно с математической точностью планировать график сельхозработ, принимать экстренные меры для предотвращения потерь в случае угрозы, просчитывать возможную урожайность, себестоимость производства и прибыль [1].

Важным фактором ускорения цифровизации сельского хозяйства в России явилась программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства РФ №1632-р от 28 июля 2017 года. Для реализации задач этой Программы в Министерстве сельского хозяйства Российской Федерации был разработан проект «Цифровое сельское хозяйство», целью которого является цифровая трансформация отрасли посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в АПК и достижения роста производительности труда на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях в 2 раза к 2021 году.

Проведенное аналитическое обобщение практического опыта внедрения в российский агробизнес элементов технологий «Интернета вещей» показало, что опережающее развитие российского агропромышленного комплекса существенным образом определяется широким внедрением цифровых технологий.

Данные о методике исследования

Реализация поставленных в работе задач была достигнута на основе анализа основных положений программы цифровизации экономики России, принятой Правительством РФ.

В работе использованы материалы с сайтов TAdviser.ru, iot.ru, visiononline.org, экспертные оценки состояния и развития цифровизации экономики России, научные статьи в специализированных журналах, журналах из списка Web of science, Интернет-изданиях, посвященные теме исследования, данные компаний, использующих в своем бизнесе технологии Интернета вещей.

При написании работы, в зависимости от особенностей решаемых задач, использовались различные методы экономического исследования: абстрактно-логический – при постановке цели и задач исследования; сравнительный анализ – при определении основных положений программы цифровизации экономики России и другим проблемам, рассматриваемым в работе; индуктивный и дедуктивный методы – при выявлении краткосрочных и долгосрочных последствий влияния технологий Интернета вещей на экономику России.

Экспериментальная часть

Вышеуказанные факторы привели к резкому повышению интенсивности потоков информации. Данные от различных агентов производственной цепочки позволяют получать информацию иного качества, находить закономерности, создавать добавочную стоимость для всех вовлеченных участников, применять современные научные методы обработки (data science) и на их основе принимать правильные решения, минимизирующие риски и улучшающие бизнес товаропроизводителей.

Сельхозтоваропроизводителям и их контрагентам становятся доступны мобильные или онлайн-приложения, содержащие геоинформационные карты. При загрузке данных о своем поле (координаты, площадь, тип культур, прошлая урожайность) можно получать точные рекомендации и последовательность действий с учетом анализа многих факторов, как на своем участке, так и во внешнем окружении, комбинируя данные с техники, датчиков, дронов, спутника, других внешних приложений. Программа помогает определить лучшее время для посадки семян, удобрения, увлажнения или сбора урожая, просчитать время погрузки и доставки груза до покупателя; следить за температурой в зоне хранения и транспортировки, чтобы избежать порчи и доставить свежую продукцию; прогнозировать урожай и доход и получать советы по улучшению обработки растений в сравнении с прошлыми показателями.

Многие эксперты отмечают, чтобы сделать цифровое земледелие реальным, должны быть в наличии два основных условия:

1) умные машины: они должны быть способны принимать, отправлять, генерировать (через датчики) и обрабатывать данные;

2) подключенные машины: коммуникационные и интерфейсные стандарты должны обеспечивать беспрепятственный обмен данными между машинами, с деловыми партнерами, а также между порталами (рис.1).

Один из основных направлений в сфере Интернета вещей (IoT) в России – это системы мониторинга эффективности использования основных активов сельхозтоваропроизводителей. К основным приемопередающим устройствам IoT в сельском хозяйстве относятся:

-СМТ: GPS/Глонасс трекеры, датчики топлива.
-Датчики активности животных /Болюсы.
-Персональные идентификаторы (RFID карты, IButton).
-Системы точного земледелия.
-БПЛА/Дроны.
-Умные метео-станции.
-Весо-измерительные приборы.
-IP камеры.
-Смартфоны/Планшеты.
-Системы доения животных.

Разнесенные на площадях в десятки квадратных километров эти устройства непрерывно передают по радиоканалам информацию о состоянии контролируемых объектов.

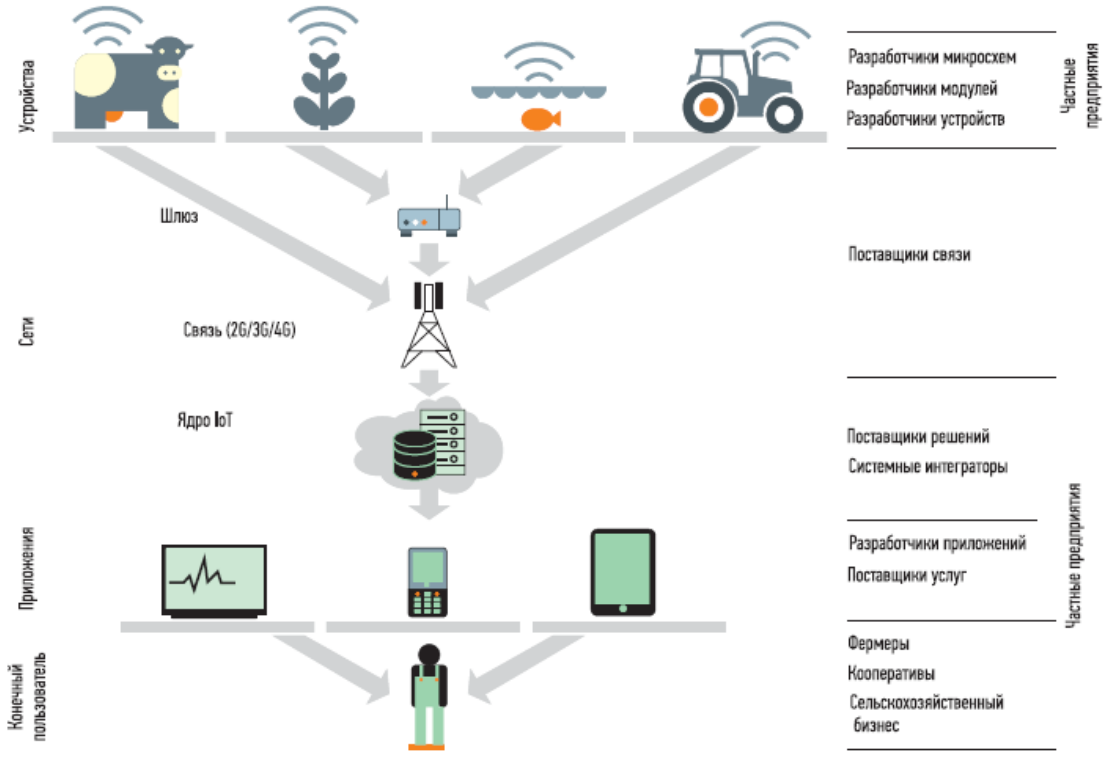


Рисунок 1 - IT-платформа в умном сельском хозяйстве (gsmaintelligence.com)

Информация, полученная от них, позволяет отслеживать значение таких параметров как влажность, температура, показатели здоровья растения, запас топлива и т. д. Они позволяют выявлять неоднородности рельефа, типа почв, уровень освещенности, количества сорняков и паразитов. Получив необходимые данные, агрономы принимают решения о том, какие агрокультуры можно более эффективно выращивать на каждом участке поля. Использование такой информации в сельскохозяйственной деятельности, в свою очередь, является важным шагом на пути к созданию интеллектуальной фермы [2].

В России уже появились производители оборудования для осуществления такого мониторинга. Например, IT-система «Агросигнал» компании «ИнфоБиС» позволяет осуществлять контроль за всеми процессами в цепочке агропроизводства в режиме реального времени. На все точки контроля – а это

может быть любая сельхозтехника, оборудование на складах, в весовых и т.д. – устанавливаются трекеры и датчики. Информация с них передается в облачную систему, откуда, уже после обработки, поступает на электронные устройства клиента [3].

Такая онлайн-система помогает искоренить нецелевое использование расходных материалов в хозяйствах. При этом, более точным становится выполнение технологических операций, так как работу оператора сельхозтехники можно оперативно корректировать. Также система позволяет в принципе изменить оплату труда – вместо погектарной хозяйства могут перейти на почасовую, и при этом не оплачивать часы простоя. В итоге работники больше трудятся, техника реже простаивает, и при этом соблюдаются все технологические нормативы.

В настоящее время на российском рынке доступны как устройства с поддержкой технологий LoRaWAN, NB-Fi и XNB, так и сетевое оборудование (инфраструктура), в том числе от российских поставщиков. В ближайшей перспективе ожидается появление на рынке первых коммерческих устройств с поддержкой технологии NB-IoT [4].

В 2019 году компания J'son & Partners Consulting провела исследования текущего состояния и перспектив внедрения узкополосных беспроводных технологий для Интернета вещей (LPWAN). Как отметили её специалисты, для обеспечения подключения устройств IoT могут использоваться различные радиотехнологии и стандарты беспроводной связи. В России подавляющее большинство беспроводных сетей для IoT возможно использовать в рамках следующих 6-ти крупных сегментов (рис. 2).

Рисунок 2 - Классификация основных беспроводных технологий для IoT (источник: проект Концепции построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории Российской Федерации)

Данная Концепция предусматривает, что стандарты LPWAN будут использоваться, в первую очередь, в ЖКХ, «умных» городах, в логистике, на транспорте и в сельском хозяйстве. В целом, российский рынок будет развиваться в соответствии с общемировыми трендами, с задержкой на 1-3 года от развитых стран.

При этом, будет снижаться роль «чистых» поставщиков услуг связи для M2M/IoT и возрастать роль поставщиков сервисов на базе облачных IoT-платформ, услуг системной интеграции и техподдержки систем M2M/IoT [4].

По прогнозам специалистов, значительное число устройств IoT (около 80%) будут подключены через шлюзы на основе локальных и персональных сетей в полосах радиочастот, используемых в упрощенном порядке. При этом сами шлюзы могут быть подключены через существующие сети сотовой подвижной связи или узкополосные беспроводные сети связи IoT.

По прогнозам BergInsight, в 2023 г. на долю технологий в лицензируемом спектре (NB-IoT и LTE-M) придется около 80% всех поставок устройств LPWA в мире – почти 1 млрд. штук.

В качестве примера использования таких технологий можно привести опыт цифровизации бизнес-процессов на крупных российских сельскохозяйственных предприятиях.

В пермском агропромышленном комплексе «Красава» сельскохозяйственная техника (погрузчики, тракторы, уборочная техника и пр.) была оснащена IoT-трекерами, контролирующими местоположение транспорта. Это позволило оптимизировать передвижение транспортных средств по территории предприятия и исключило случаи нецелевого использования техники.

В зданиях агрокомплекса был организован сбор информации с приборов учета энергоресурсов в режиме реального времени. На цистерны временного хранения продукции агрохолдинга были установлены беспроводные IoT-датчики, контролирующие информацию по объему отгруженного молока и соответствие нормам. Помимо этого, в зоне отгрузки продукции была размещена система видеонаблюдения, позволяющая в режиме онлайн отслеживать действия персонала [5].

Больших успехов в цифровизации бизнес-процессов добились на животноводческом предприятии ГК «Дамате» в Тюменской области.

В деятельности компании активно используются спутниковые снимки полей, карты для дифференцированного внесения удобрений, датчики перемеще-

ния техники, мониторинг животных и «центр быстрого реагирования», работающий на предприятии круглые сутки [6].

В растениеводческом подразделении работают две программы: ANT (точное земледелие) и Wialon (система спутникового мониторинга и контроля перемещения техники). В программное обеспечение, которое работает на стадо, входят: TMR Tracker (контроль кормления), СЕЛЭКС (учётно-аналитическая программа для контроля стада), DAIRY PLAN (контроль доения), SMARTBOW (система мониторинга коров и датчики движения), HYBRIMIN (составление рационов). Все данные объединяются в программе UNIFORM AGRI, которая позволяет контролировать состояние стада в одном системном продукте, не переключаясь между разными программами.

Программа также контролирует стельность животных. Сотрудники с её помощью выявляют коров, которые должны были отелиться, но по какой-то причине перехаживают. Всех таких животных программа обязательно покажет специалисту с соответствующими пометками.

Разработана система оповещений при достижении критических значений показателей и параметров. При выявлении программой значимых отклонений система будет бить тревогу

Система мониторинга PRTG позволяет настроить разные способы уведомления о событиях: SMS, email, push - уведомления, сообщение в Slack, сообщение в MS Team и т.д. При отклонении от нормы ответственный сотрудник получит соответствующее уведомление.

Данные всех коров, на которых установлены датчики, можно увидеть на карте. Программа позволяет видеть график активности животного за последние 24 часа и произвести анализ по определённым параметрам за последние три дня, чтобы определить состояние. Если у животного идёт отклонение от нормы, программа выявляет это автоматически и подаёт сигнал.

Одним из важнейших нововведений на предприятии стало создание ситуационного центра, который позволяет контролировать работу всей техники предприятия.

При этом, у Центра существуют три основных сценария работы.

Первый из них заключается в обработке суточной информации и поиске неявных проблем. По результатам данных, собранных на предприятии за стуки, формируются отчёты, которые рассылаются в электронном виде ежедневно до 6 часов утра.

Второй сценарий – когда что-то случилось здесь и сейчас.

Третий сценарий – ситуация «пожара», когда на предприятии экстренно поднимают всех – при этом, не важно, день на дворе или ночь. Это происходит тогда, когда решение необходимо принять немедленно. Сами сотрудники Центра проблем не решают, но в любой экстренной ситуации есть алгоритм оповещений, охватывающий 90 % случаев, которые могут произойти на производстве [6].

Выводы и рекомендации

Как отмечает директор департамента развития и управления государственных и информационных ресурсов Минсельхоза России Игорь Козубенко, "…рынок информационно-компьютерных технологий в сельском хозяйстве на данный момент составляет порядка 360 млрд. рублей. К 2026 году он должен вырасти как минимум в пять раз, в том числе за счет поддержки агро-стартапов". По его словам, министерство плотно работает с организациями, которые занимаются стартапами, в том числе со "Сколково", с Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, с Фондом развития интернет-инициатив (ФРИИ), и помогает "…этим фондам и стартапам напрямую выйти на сельхозпроизводителя" [7].

Он также отметил, что в министерстве создан аналитический центр, занимающийся мониторингом состояния земель сельхозназначения, идут переговоры с Роскосмосом и Росгидрометом о создании единой базы снимков из космоса и климатических данных.

В числе существующих проблем в области информационных технологий (ИТ) в агропромышленном комплексе Игорь Козубенко отметил острую нехватку кадров, при этом, ИТ-специалист, как правило, получает зарплату больше, чем главный агроном. Ещё одна значимая проблема – зависимость от импортных технологий. В Минсельхозе подсчитали, что порядка 95% информационных технологий в сельском хозяйстве – зарубежные [7].

Одним из путей решения кадровой проблемы является заказ со стороны государства крупнейшим аграрным вузам. Соответственно, с 2017 года в них были открыты кафедры цифровизации сельского хозяйства, где стали готовить кадры для этой области. Министерство разрабатывает программы подготовки специалистов по цифровым технологиям для сельского хозяйства. Речь идет, в частности, о специалистах в области Интернета вещей и операторах квадрокоптеров [7].

Первый заместитель директора ФБГУ «Аналитический центр Минсельхоза России» Сергей Косогор в ходе международной конференции «Цифровая трансформация сельского хозяйства» сообщил о подходе ведомства к стимулированию использования IoT-устройств в агросекторе. По его словам, министерство предлагает субсидировать передачу данных с подключенных устройств. При этом, речь идет о субсидировании строительства инфраструктуры передачи данных. Минсельхоз считает также возможным субсидировать передачу данных и при использовании зарубежных IoT-устройств. Однако ведомство нацелено на использование только российских дата-центров. В свою очередь, Минсельхоз намерен использовать передаваемые агробизнесменами данные для собственной аналитики и аккумулирования информации о сельхозпроизводстве.

По словам Сергея Косогора, Минсельхоз совместно с Минкомсвязи разрабатывает механизмы обеспечения подключения устройств Интернета вещей в сельской местности, где отсутствует покрытие сотовой связью.

Таким образом, в работе показано, что внедрение в российском АПК элементов технологий «Интернета вещей» будет способствовать его опережающему развитию. Это, в свою очередь, обеспечит широкое внедрение большой номенклатуры сенсорных устройств, средств коммуникации и доступа к глобальным источникам информации, а также к партнерским платформам смежников и поставщиков. Предлагаемые решения позволят применять современные технологии обработки данных с учетом их увеличивающегося объема и усложнения структуры, при этом будут повышаться достоверность аналитических результатов и качество управленческих решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. ИТ в агропромышленном комплексе России. TAdviser: Государство. Бизнес. IT. 14.06.2019г.
2. Иванов А., Моисеев В. Сельское хозяйство по-умному. IIoT приложение к журналу CONTROL ENGINEERING РОССИЯ / 06.04.2017.
3. Агросигнал - Контроль и учет сельхозработ. Новости TAdviser. 14.06.2019.
4. Стандарт NB-IoT Low-Power and Wide-Area, LPWA. Энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия. Новости ИТ-рынка России от TAdviser. 06-12-2019.
5. «ЭР-Телеком» внедрил IoT-решения в «Агропромышленном комплексе «Красава». Новости ИТ-рынка России от TAdviser. 29-11-2019.
6. Чернышова Е. Оцифрованная ферма. Как современные технологии повышают рентабельность животноводческого предприятия. // Агротехника и технологии, январь-февраль 2020.
7. Сельское хозяйство в России 19.03.2018г. Новости ИТ-рынка России от TAdviser. 09-10-2019.

УДК 004.75

Алексеев[1] В.В., Яковлев[1] А.В., Мазалов[1] А.Н., Косинов[2] Е.С.

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия

[2]«Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ РЕСУРСОВ СЕТЕВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрен подход по оптимизации ресурсов сетевых информационных систем. Показана актуальность решения задачи распределения ресурсов по узлам сетевых информационных систем. Произведена постановка задачи распределения данных и их размещения по узлам сетевых информационных систем. Для решения данной задачи разработана аналитическая модель оптимизации ресурсов сетевой информационной системы. Выполнен анализ критериев оптимальности распределения ресурсов по узлам сетевых информационных систем, введенных отечественными и зарубежными авторами. Формализованы понятия информационная сущность, атрибут сущности, распределенная база данных. Представлено описание сетевой информационной системы с точки зрения распределения сущностей по узлам. Получена функция, характеризующая информационные потоки при выполнении распределенных запросов. Результаты исследований на основе разработанной аналитической модели позволили сформулировать задачу распределения сущностей по узлам за требуемое время, при ограничениях на уникальность информационных сущностей и физические ресурсы по хранению информации на узлах. Установлено, что задача распределения ресурсов относится к классу задач целочисленного программирования, особенностью которой является оптимизация структуры распределенной базы данных при неявной зависимости целевой функции от переменной распределения и наличии ограничений.

Ключевые слова:

СЕТЕВАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ИНФОРМАЦИОННАЯ СУЩНОСТЬ, РЕСУРСЫ СИСТЕМЫ

Введение

В настоящее время большинство предприятий используют в своей работе сетевые информационные системы (СИС). СИС представляет собой совокупность информационных центров, систем обработки, хранения и передачи информации. Их широкое применение обусловлено, с одной стороны, повышением производительности предприятия, а с другой, снижением экономических затрат на внедрение в сравнении с локальными системами. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» будет способствовать дальнейшему распространению СИС в экономические, управленческие, научные, производственные и другие области. В этой связи происходит увеличение размеров как самих СИС, так и реализуемых ими процессов, что приводит к постоянному увеличению объема передаваемых и хранимых в них данных. Следовательно, перед разработчиками встает задача повышения эффективности функционирования СИС. Решение данной задачи можно достичь за счет оптимального распределения ресурсов по узлам СИС [1, 2].

Актуальность задачи распределения ресурсов подтверждается невозможность нахождения оптимального решения из-за наличия проклятия размерности этой задачи, то есть NP-полной задачи [3].

Основная часть

Под задачей распределения ресурсов будем понимать задачу распределения данных и их размещения в узлах СИС.

Рассмотрим СИС, данные в которой хранятся в распределенной базе данных (РБД) и формально могут быть представлены в виде логической структуры базы данных (рис. 1). Топологию СИС и лежащей в ее основе РБД представим в виде графа (рис. 2).

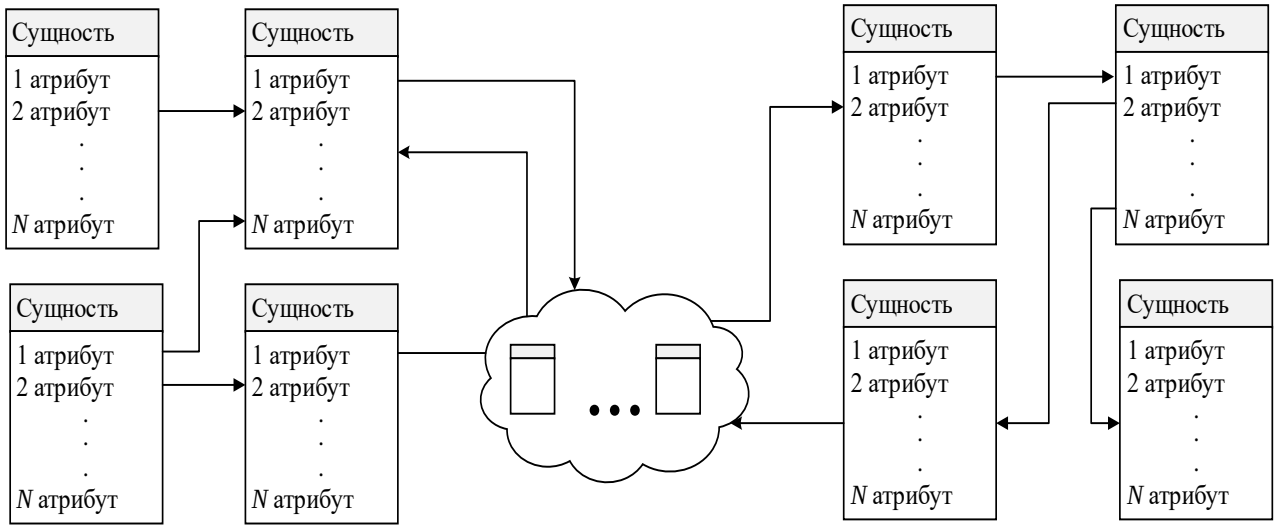


Рисунок 1 – Логическая структура базы данных

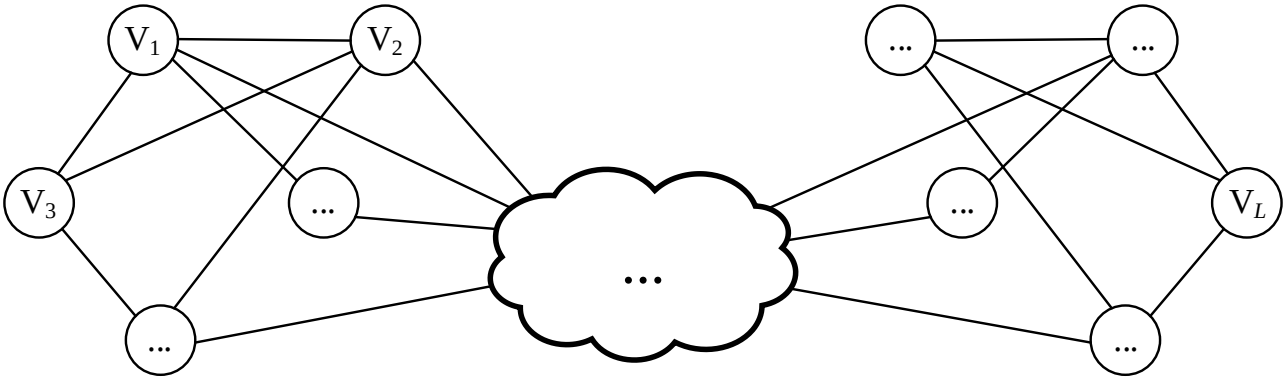


Рисунок 2 – Граф представления СИС и лежащей в ее основе РБД

Решение задачи оптимального распределения данных и их размещения в узлах СИС необходимо начать с выбора критерия оптимальности, оценивающего эффективность ее работы.

Анализ предметной области показал, что в качестве критериев оптимальности авторы использовали минимизацию общего количества передаваемых по сети данных [4], среднего объема передаваемых по сети данных [5], общей стоимость трафика [5], времени ответа на запрос [6], среднего времени реакции системы [7], одновременно двух критериев: время исполнения запроса и коэффициент готовности транзакций в базе данных [8], суммарного потока между базами данных и их пользователями с ограничением на степень риска нарушения целостности базы данных [9, 10].

В результате анализа установлено, что применяемые ранее методы в процессе решения используют NP-полные задачи, и не снижают их нарастающую экспоненциальную сложность.

Топологию СИС представим сетью, соединяющую узлы (под узлом СИС следует понимать локальную вычислительную сеть с несколькими АРМ и одним или несколькими серверами БД) посредством дуг – каналов передачи данных:

$$G = (V, E), \qquad (1)$$

где $V = \{v_l,\ l = 1, \ldots, L\}$ – множество узлов сети G; $E = \{e_m,\ m = 0, \ldots, M\}$ – множество дуг сети G.

Связи между вершинами заданы матрицей весовых коэффициентов $\Gamma=\left\|v_{l_н l_к}\right\|$.

$$\Gamma = \begin{pmatrix} v_{11} & \cdots & v_{нк} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{н1} & \cdots & v_{нк} \end{pmatrix} \qquad (2)$$

Информационная сущность (s) – это «любой конкретный или абстрактный объект, включая связи между объектами» [13]. Атрибут информационной сущности (A) – «это наблюдаемое свойство сущности или наблюдаемое свойство ассоциации между сущностями проблемной области» [13].

Данная СИС предназначена для решения комплекса задач $B = \{b_p,\ p = 1, \ldots, P\}$. При этом в своей работе она использует информацию об экземплярах информационной сущности S, хранящуюся в узлах СИС:

$$S=\{s_{r1,\ \ldots,\ rW},\ r_1=1,\ \ldots,\ R_1,\ \ldots,\ r_w=1,\ \ldots,\ RW,\ w=1,\ \ldots,\ W\} \qquad (3)$$

или

$$S=©s_{r1};\ s_{r1}= ©s_{r1,r1};\ldots;\ s_{r1,\ \ldots,\ rW-1}= ©s_{r1,\ \ldots,\ rW}, \qquad (4)$$

где S – множество сущностей, используемых при решении задач; $r_1=1, \ldots, R1, \ldots, r_W = 1, \ldots, RW$, $w = 1, \ldots, W$ – номер индекса сущности, определяющий ее место в иерархии зависимости, т.е., независимые сущности – уровень w =1 – имеют одноместный индекс (например $s_1, s_2, \ldots, s_{R1}$), а сущности, входящие в качестве подсущностей в предыдущий уровень – уровень $w = 2$ – имеют двуместный индекс (например, $s_{1,1}, s_{1,2}, \ldots, s_{1,R2}$ и т.д.); © – операция квазиобъединения, которая позволяет получить сущность предыдущего уровня.

Принцип построения индексов сущностей, используемых в СИС, приведен на рис. 3.

Описание сущностей имеет вид информационных ссылочных справочников.

Далее дадим описание СИС с точки зрения распределения сущностей по узлам сети.

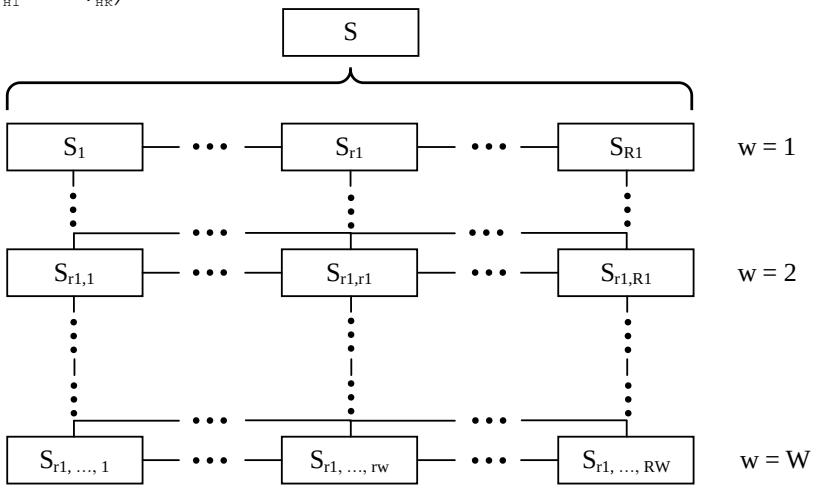


Рисунок 3 – Иерархическая модель сущностей

Общее структурное описание сущностей представлено в таблице 1.

Структурное описание сущностей — Таблица 1

Описание сущностей	Математическая запись
Множество сущностей, используемых СИС	$S = \{s_{r1,\ \ldots,\ rW},\ r1=1,\ \ldots,\ R1,\ \ldots,\ rW = 1,\ \ldots,\ RW,\ w=1,\ \ldots,\ W\};$ $S = ©s_{r1};$ $s_{r1} = ©s_{r1,\ r1};$ … $s_{r1,\ \ldots,\ rW-1} = ©s_{r1,\ \ldots,\ rW}$
Описание сущности всех уровней, кроме последнего (w=0, …, W-1)	$s_{r1,\ \ldots,\ rw} = \{<A_{j,\ (r1,\ \ldots,\ rw)}>,\ <s_{r1,\ \ldots,\ s_{r1,\ \ldots,\ rW}}> \in S,\ j = 1,\ \ldots,\ J_{(r1,\ \ldots,\ rW-1)}\}$
Описание сущности последнего уровня W	$s_{r1,\ \ldots,\ rW} = \{<A_{j,\ (r1,\ \ldots,\ rW)}>,\ j = 1,\ \ldots,\ J_{(r1,\ \ldots,\ rW)}\}$
Множество атрибутов, описывающих объекты множества S	$A = \{A_{j,\ (r1,\ \ldots,\ rW)},\ j = 1,\ \ldots,\ J_{(r1,\ \ldots,\ rW)}\}$

Предположим, что в каждом l-ом узле решается строго определенный набор задач, обусловленный спецификой рассматриваемой системы:

$$F_l=\{f_{l,n},\ n=1,\ \ldots,\ N_l\},\ l=1,\ \ldots,\ L,\ F_l \subset B \qquad (5)$$

Введем термин частотная характеристика задачи (ЧХЗ), под которым будем понимать количество повторений каждой из задач, решаемых в l-ом узле за единицу времени. Положим, что ЧХЗ, решаемых в l-ом узле, заданы в виде:

$$Q=\left\|q_{l,n}\right\|, \qquad (6)$$

где l – номер узла, на котором решается задача; *n* – номер задачи.

Для решения n-й задачи используется некоторое множество сущностей:

$$D_{l,n} = \{d_{l,n,k},\ k =1,\ \ldots,\ K_{l,n}\},\ \ n=1,\ \ldots,\ N_l,\ l=1,\ \ldots,\ L,\ D_{l,n} \subset S;$$

$$\tilde{D_{l,n}} \cap D^{*}_{l,n}=\emptyset;\ \tilde{D_{l,n}} \cup D^{*}_{l,n}=D_{l,n};\ K^{*}_{l,n}+K\tilde{_{l,n}}=K_{l,n}, \qquad (7)$$

где $D_{l,n}$ – множество сущностей, используемых при решении n-й задачи в l-ом узле. Множество $D_{l,n}$ является отображением множества S на множество

F_l. В тоже время множество $D_{l,n}$ содержит: $D_{l,n}^*$ – множество неперемещаемых сущностей, используемых при решении n-й задачи в l-ом узле и $D_{l,n}^{\sim}$ – множество перемещаемых сущностей, используемых при решении n-й задачи в l-ом узле.

Введем термин частотной характеристикой сущности (ЧХС), код которым будем понимать количество обращений к сущности $d_{l,n,k}$ при решении n-й задачи в l-ом узле в единицу времени.

Частотные характеристики сущности могут быть заданы в виде:

$$U=\left\|u_{l,n,k}\right\|, \qquad (8)$$

где l – номер узла, на котором решается задача; n – номер задачи, при решении которой используется данная сущность; k – номер сущности.

Отображением множества *S* на множество *V* является **Φ** – множество сущностей, размещенных в узлах, включающее Φ_l – множество сущностей, размещенных в l-ом узле. В свою очередь множество Φ_l содержит: Φ_l^* – множество неперемещаемых сущностей и $\Phi_l^{\sim}$ – множество перемещаемых сущностей:

$$\Phi_l\subseteq\Phi;\ \Phi_l^*\subseteq\Phi_l;\ \Phi_l^{\sim}\subseteq\Phi_l;$$

$$\Phi_l^{\sim}\cap\Phi_l^*=\emptyset;\ \Phi_l^{\sim}\cup\Phi_l^*=\Phi_l;\quad X_l^{\sim}+X_l^*=X_l \qquad (9)$$

Стоимость доставки информационной сущности из узла-источника в узел, на котором решается задача, имеет вид:

$$\Psi_{l,n,k}(l_и(\Phi))=\max\left(\Psi_{l,n,k,к}\right),к\in R_{l,l_и}, \qquad (10)$$

где $R_{l,l_и}$– путь наименьшей стоимости, соединяющий узел-источник и узел-приемник; **к** – дуга, принадлежащая этому пути.

В таблице 2 представлено описание элементов аналитической модели распределения информации, при функционировании рассматриваемой СИС.

Описание элементов аналитической модели Таблица 2

Элементы аналитической модели	Математическая запись
Сеть G	$G = (V, E)$
Множество V вершин (узлов) сети G	$V = \{v_l,\ l = 1, \ldots, L\}$
Множество E дуг сети G	$E = \{e_m,\ m=0, \ldots, M\}$
Матрица весовых коэффициентов	$\Gamma = \left\|v_{l_и l_к}\right\|$
Множество B задач, решаемых системой	$B = \{b_p,\ p =1, \ldots, P\}$
Множество F_l задач, решаемых в l-ом узле	$F_l = \{f_{l,n},\ n = 1, \ldots, N_l\},\ l = 1, \ldots, L,\ F_l\subset B$
Частотные характеристики задачи	$Q = \left\|q_{l,n}\right\|$
Множество $D_{l,n}$ сущностей, используемых при решении n-й задачи в l-ом узле	$D_{l,n} = \{d_{l,n,k},\ k_{l,n}=1, \ldots, K_{l,n}\} =\{D^*_{l,n}, D^{\sim}_{l,n}\},$ $n = 1, \ldots, N_l,\ l = 1, \ldots, L$
Множество $D^*_{l,n}$ неперемещаемых сущностей, используемых при решении n-й задачи в l-ом узле	$D^*_{l,n} = \{d^*_{l,n,k^*},\ k^*_{l,n} = 1, \ldots, K^*_{l,n}\},\ n = 1, \ldots, N_l,$ $l = 1,\ldots, L$
Множество $D^{\sim}_{l,n}$ перемещаемых сущностей, используемых при решении n-й задачи в l-ом узле	$D^{\sim}_{l,n} = \{d^{\sim}_{l,n,k\sim},\ k^{\sim}_{l,n} = 1, \ldots, K^{\sim}_{l,n}\},\ n = 1, \ldots, N_l,$ $l = 1,\ldots, L$
Частотные характеристики сущности	$U = \left\|u_{l,n,k}\right\|$
Множество **Φ** сущностей, размещенных в узлах	$\Phi = \{\Phi_l,\ l=1, \ldots,L\},\ \bigcup_{l=1}^{L}\Phi_l=S$
Множество Φ_l сущностей, размещенных в l-ом узле	$\Phi_l = \{\varphi_{l,x},\ x = 1, \ldots, X_l\}=\{\Phi_l^*,\ \Phi_l^{\sim}\},\ l =1, \ldots, L$
Множество Φ_l^* неперемещаемых сущностей, размещенных в l-ом узле	$\Phi_l^* = \{\varphi^*_{l,x^*},\ x^*=1,\ldots,\ X_l^*\},\ l = 1, \ldots, L$
Множество $\Phi_l^{\sim}$ перемещаемых сущностей, размещенных в l-ом узле	$\Phi_l^{\sim}=\{\varphi^{\sim}_{l,x\sim},\ x^{\sim}=1,\ldots,\ X_l^{\sim}\},\ l = 1, \ldots, L$
Множество $H_{l,n,k}$ атрибутов, описывающих k-ю сущность при решении n-й задачи в l-ом узле	$H_{l,n,k} = \{h_{l,n,k,i},\ i = 1, \ldots, I_{l,n,k}\},\ k_{l,n} = 1, \ldots, K_{l,n},$ $n = 1, \ldots, N_l,\ l=1, \ldots, L,\ H_{l,n,k}\subset A$
i-й атрибут характеризуется кортежем	$h_{l,n,k,i} = \{<\Omega_{l,n,k,i},\ \Theta_{l,n,k,i},\ Y_{l,n,k,i}>\}$
Объем i-го атрибута k-й сущности при решении n-й задачи в l-ом узле	$Y_{l,n,k,i}$

На основании описания элементов аналитической модели получим функцию, характеризующую информационные потоки при выполнении распределенных запросов, в виде:

$$Z(\Phi)=\sum_{l=1}^{L}\sum_{n=1}^{N_l}q_{l,n}\sum_{k=1}^{K_{l,n}}u_{l,n,k}\Psi_{l,n,k}(l_и(\Phi))\rho_{l,n,k}\sum_{i=1}^{I_{l,n,k}}Y_{l,n} \qquad (11)$$

где $\Psi_{l,n,k}\left(l_и(\Phi)\right)$ – стоимость доставки требуемой сущности из узла-источника с номером $l_и$ в узел-приемник с номером l ($l \neq l_и$).

Решая задачу распределения сущностей в узлах СИС, зададим ограничения:

– одна и та же информационная сущность в сети не может быть размещена в разных узлах (12):

$$\bigcap_{l=1}^{L}\bigcap_{x=1}^{X_l}\phi_{l,x}=\emptyset; \qquad \bigcup_{l=1}^{L}\bigcup_{x=1}^{X_l}\phi_{l,x}=S \qquad (12)$$

– узлы имеют ограниченные ресурсы по хранению информации (13):

$$\sum_{n=1}^{N_l}\sum_{k=1}^{K_{l,n}}\rho_{l,n,k\Sigma}\sum_{i=1}^{I_{l,n,k}}Y_{l,n,k,i}\le\Lambda_l, \qquad (13)$$

где Λ_l – объем, включая объем, занятый неперемещаемыми сущностями, разрешенный для распределения данных, в этом узле; $\rho_{l,n,k\Sigma}$ – количество экземпляров данной сущности [4].

Первое ограничение накладывается в связи с тем, что оптимальное распределение информации не предусматривает ее дублирования. Вместе с тем встает вопрос надежности хранения информации, что требует применение специальных мер. Поэтому в целях обеспечения надежности хранения информации предполагается иметь резервные узлы, на которых будут храниться текущие реплики фрагментов РБД.

Наложение второго ограничения связано с аппаратными возможностями узлов, предоставляющих свои ресурсы для распределения информации. Оно позволяет манипулировать величиной загрузки узла (Λ_l) информацией. Для узлов, не имеющих возможности предоставить свои ресурсы, данная величина равна 0.

На основании вышеизложенного задача распределения сущностей по узлам может быть сформулирована следующим образом: определить такое распределение (**Φ**) сущностей по узлам СИС, которое минимизирует целевую функцию (полное время обработки запросов при решении всей совокупности задач на заданном временном интервале) (11) при ограничениях (12) и (13)

$$\Phi_{опт}\rightarrow\min_{\Phi} Z(\Phi). \qquad (14)$$

Задача распределения ресурсов относится к классу задач целочисленного программирования, особенностью которой является оптимизации структуры РБД при неявной зависимости целевой функции от переменной распределения и наличии ограничений.

Заключение

В работе произведена постановка задачи распределения данных и их размещения по узлам сетевых информационных систем. Для решения данной задачи разработана аналитическая модель оптимизации ресурсов сетевой информационной системы, а также выполнен анализ критериев оптимальности распределения ресурсов по узлам сетевых информационных систем, введенных отечественными и зарубежными авторами. Получена функция, характеризующая информационные потоки при выполнении распределенных запросов. Результаты исследований на основе разработанной аналитической модели позволили сформулировать задачу распределения

сущностей по узлам за требуемое время, при ограничениях на уникальность информационных сущностей и физические ресурсы по хранению информации на узлах.

Разработанная аналитическая модель оптимизации сетевых информационных систем позволит повысить эффективность функционирования СИС, за счет сокращения времени обработки запросов при решении всей совокупности задач за ограниченное время

ЛИТЕРАТУРА

1. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных, 8-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 1328 с.: ил.

2. Таненбаум, Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен. – СПб., 2003. – 877 с.

3. Garey M., Johnson D. Computers intractability: a guide to the theory of NP-completeness. – San Francisco: W. H. Freeman, 1979. – 338 p.

4. Apers P.M.G. Data allocation in distributed database systems // ACM Transactions on Database Systems. – 1988 – Vol. 13 – № 3 – P. 263–304.

5. Цегелик, Г. Г. Системы распределенных баз данных / Г. Г. Цегелик. – Львов: Свит, 1990. – 166 с.

6. Johansson J.M., March S.T., Naumann J.D. Modeling Network Latency and Parallel Processing in Distributed Database Design // Decision Sciences Journal. – 2003 – Vol.34 – № 4 – P. 677–706.

7. Скоба А.Н. Математическая модель оптимального размещения распределённой базы данных по узлам ЛВС на базе файл - серверной архитектуры [Электронный ресурс] / А.Н. Скоба, Е.В. Состина // ИВД. 2015. №2-1. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-optimalnogo-razmescheniya-raspredelyonnoy-bazy-dannyh-po-uzlam-lvs-na-baze-fayl-servernoy-arhitektury (дата обращения: 22.05.2020).

8. Mukkamala R., Bruell S.C., Shultz R.K. Design of partially replicated distributed database systems: an integrated methodology // ACM SIGMETRICS conference on Measurement and modeling of computer systems. Santa Fe, New Mexico, United States. – 1988 – P. 187–196.

9. Аббасов А.М. Оптимизация размещения информационной базы с копиями в сети ЭВМ // Автоматика и вычислительная техника, 1988 г. №4, с. 71-75.

10. Зиновьев Э.В., Клименко С.А. Декомпозиционный метод оптимального размещения информационных ресурсов в сетях ЭВМ с зональнойструктурой//Автоматика и вычислительная техника, 1987 г., № 6, с. 54-60

11. Катулев А.Н. Методы редукции графов в задачах реструктуризации задолженности предприятий [Электронный ресурс] / А.Н. Катулев, Г.В. Колесник, В.Н. Михеев // Программные продукты и системы. – 1999. – №2. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-reduktsii-grafov-v-zadachah-restrukturizatsii-zadolzhennosti-predpriyatiy (дата обращения: 22.05.2020).

12. Абдулхаков А.Р., Методы редукции нечетких правил в базах знаний интеллектуальных систем [Электронный ресурс] / А.Р. Абдулхаков, А.С. Катасёв, А.П. Кирпичников // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №23. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-reduktsii-nechetkih-pravil-v-bazah-znaniy-intellektualnyh-sistem (дата обращения: 22.05.2020).

13. ГОСТ 34.320-96. Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Концепции и терминология для концептуальной схемы и информационной базы.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Koshkarbay N.Zh. 148
Moldamurat Kh. 148
Nurbyergen Y. 148
Yemelyev A. 148
Yergaliyev D. 148
Абдирашев О.К. 84, 88, 183, 185
Абилхасымов Д.М. 88
Абрамов О.В. 10
Аверин И.А. 254, 257, 260
Аксенов А.С. 216
Алексеев В.В. 216, 302
Алиева А.М. 190
Алимова Е.А. 254
Алмаметов В.Б. 17, 70
Алферов Ю.В. 97, 101, 104
Аль-Араджи З.Х.М. 197
Андреев П.Г. 114, 126
Андрианов А.Р. 74, 126
Антоненко С.И. 264
Ануар Г.А. 84, 183
Аппазова Ш. 56
Астапенко Ю.В. 94
Астахов Н.В. 90
Афанасьев М.Е. 295
Ахмедов Б.М. 185
Бабишин В.Д. 310
Байгузова А.В. 234
Батова В.Н. 298
Бахтияров И.Н. 188
Башкиров А.В. 90, 110
Безбородова О.Е. 81
Берхольц В.В. 178
Бецков А.В. 26
Бодин О.Н. 81
Будылдина Н.В. 169, 172
Бушмелева К.И. 241, 245
Вагин В.В. 216
Верещагин Д.Ю. 101
Власов А.И. 64
Власов М.А. 251
Власов Ю.А. 216
Волков А.Г. 298
Вульфин А.М. 178
Высоцкий А.В. 33
Вьюгина С.В. 199, 201, 205
Вяткина И.В. 199, 203
Галимзянова И.И. 205
Глухов И.А. 271
Головина Д.П. 151
Гордеева Е.В. 232
Гордеева О.А. 276, 285
Гришко А.К. 114
Громов Ю.Ю. 33, 97, 101, 103
Губсков Ю.А. 101, 104
Гузаиров М.Б. 178
Данилова Е.А. 120, 222, 229, 232
Демихова А.С. 90
Диго Г.Б. 128
Диго Н.Б. 128
Доросинская Ю.В. 282
Доросинский А.Ю. 280, 282, 284
Дорофеева О.С. 44
Ергалиев Д.С. 56, 84, 88, 145, 164, 183, 185
Ертаева П.К. 88
Ефимов А.А. 285
Жаднов В.В. 52
Жакупова А.Е. 84, 145
Жихарев К.В. 124
Загрутдинова А.К. 206
Залозный Н.В. 216
Занин А.С. 245
Затучный Д.А. 151, 155
Ибрагимов Б.Г. 188, 190
Кабина С.В. 236
Казаков Б.В. 44
Казакова И.А. 44
Калманова Д.М. 183
Канафин М.Ж. 145
Карманов А.А. 257, 260
Карпунин А.А. 64
Карпухин Д.Н 214
Касумаев Б.А. 137
Керимбай Б.Н. 145
Кирдяев М.М. 219
Китаева Л.А. 208
Ковтун Л.И. 264
Кожабек Ж.А. 164
Копнин Н.М. 167
Копылов С.А. 33
Косинов Е.С. 302
Костюков А.С. 90
Кочегаров И.И. 19, 120, 124, 222
Краюхин С.Б. 216
Кривопалов Д.М. 134
Крупкин Е.И. 260
Крылова И.А. 274
Крюков О.В. 264
Крюкова Л.Н. 134
Кудрина М.А. 285
Кудрявцева С.С. 29
Кузина А.В. 17
Кузина Е.А. 49
Курьшев Р.Э. 64
Лапшин Э.В. 234
Лахменев А.С. 269
Лысенко А.В. 70
Мазалов А.Н. 302
Майоров В.В. 241
Майстер В.А. 262
Макаров О.Ю. 197, 238
Макарова И.А. 212
Мамедов Г.А. 190
Марченко В.В. 17, 295
Маслобоев А.В. 21, 157
Маслов А.К. 155
Мехтиева А.М. 188
Минаков С.Н. 97
Минин Ю.В. 33
Михеев М.Ю. 76, 298
Моисеев А.В. 114
Мокшанцева А.В. 114
Молдамурат Х. 164
Муканова К. 56
Муравьев К.А. 167
Муратов А.В 197
Надейкина Л.А. 141
Назаров Д.А. 130
Намазов М. 190
Наумова И.Ю. 219, 126
Недопекин Н.В. 39
Недорезов В.Г. 280, 282
Некрасов В.В. 310
Никитин Л.Н. 90
Ондрисов Д.Б. 145
Онласкан С.Б. 84
Орнов А.К. 183

Пакайкин А.А. 114
Папко А.А. 39
Петров П.Э. 74, 126
Петрушин В.В. 141
Плеханов М.М. 45
Повшенко Г.Т. 92
Подсякина А.Ю. 232
Полтавский А.В. 58
Поляков В.П. 94
Пономарёв В.Н. 45
Попов Д.С. 108
Прокофьев О.В. 76
Пронин И.А. 257, 260
Прохоров В.Ю. 212
Путилов В.А. 157
Ракишев Ж.Б. 56
Рогачёв А.И. 108
Романенко Ю.А. 92, 94
Рустемов А.Р. 145
Рыбаков И.М. 74, 222
Рязапова Л.З. 206, 208
Савин Ю.А. 288
Савицкий В.Я. 236
Садуов Ж.Ж. 185
Садыхов Г.С. 29
Сапабеков А.Е. 164
Саушев А.В. 264, 269
Свиридов В.В. 92
Северцев Н.А. 7, 262, 288
Семенова П.С. 110
Семенюк А.В. 97, 101, 104
Сёмочкина И.Ю. 76
Сенкевич А.Ю. 271
Сергин С.Ф. 251
Серова Е.М. 167
Сигаев А.П. 257
Скаморин Д.А. 39
Слепнева Е.В. 199
Советкажиев А. 56
Соловаров И.В. 172
Соловьев В.А. 61
Старостин И.Е. 41, 116
Струнин А.Н. 229
Суров П.В. 61
Сурова Е.Э. 61
Суряев Е.С. 17, 295
Сучков А.В. 251
Сысуев В.А. 70
Сычев И.В. 97, 101, 104
Таньков Г.В. 120, 222
Токумбеков А.А. 185
Толеубай Н. 164
Трефилов П.А. 192
Трусов В.А. 19, 120
Туляков К.П. 236
Тумакова И.А. 114
Турецкий А.В. 110, 197
Тюрина Л.А. 17, 70
Увайсов С.У. 245
Уланов А.О. 35
Фазылбекулы Е. 88
Федянина В.А. 58
Фрид А.И. 178
Фролов С.И. 120, 222
Халютин С.П. 116
Хвостов А.В. 238
Худяков Ю.В. 110, 197
Хурматов Р.И. 172
Ципина Н.В. 214
Шайхаматов А.А. 108
Шалавин А.А. 229
Шатских В.В. 104
Шерстнев В.В. 81
Ширинкина Е.В. 139
Шлыков В.А. 276
Шорников Ю.Е. 232, 234
Шуваев В.Г. 274
Щербакова А.А. 236
Эрич М.Й. 155
Юдин А.А. 124
Юркевич Е.В. 134
Юрков Н.К. 12, 19, 58, 176, 262
Юркова Е.М. 49
Юрченко Е.В. 169
Якимов А.Н. 31, 79, 176
Яковлев А.В. 302
Якушова Н.Д. 257, 260
Яньков Р.В. 70

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ, КАЧЕСТВА, БЕЗОПАСНОСТИ 7

Северцев Н.А.
К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ СЛОЖНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ 7

Абрамов О.В.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНИМАКСНОГО РЕКУРРЕНТНОГО АЛГОРИТМА ПРОГНОЗА В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 10

Юрков Н.К.
СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ МЕЖМОДЕЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ 12

Алмаметов В.Б., Марченко В.В., Кузина А.В., Суряев Е.С., Тюрина Л.А.
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ 17

Юрков Н.К., Кочегаров И.И., Трусов В.А.
РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ НАДЕЖНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ 19

Маслобоев А.В.
ФОРМИРОВАНИЕ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ СЕТИ ВИРТУАЛЬНЫХ КОГНИТИВНЫХ ЦЕНТРОВ 21

Бецков А.В.
О НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКЕ МВД РОССИИ до 2030 года 26

Садыхов Г.С., Кудрявцева С.С.
РАСЧЕТ И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ НАРАБОТКАХ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КАК СМЕСЬ ДВУХ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ 29

Якимов А.Н.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ НА ИЗЛУЧЕНИЕ МИКРОВОЛНОВОЙ АНТЕННЫ 31

Громов Ю.Ю., Минин Ю.В., Копылов С.А., Высоцкий А.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ДРЕВОВИДНОЙ СТРУКТУРОЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ 33

Уланов А.О.
ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ 35

Папко А.А., Скаморин Д.А., Недопекин Н.В.
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ВАРИАЦИЙ И ОТКЛОНЕНИЙ АЛЛАНА ДЛЯ АНАЛИЗА СЛУЧАЙНЫХ ОШИБОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ИНС) 39

Старостин И.Е.
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НА БАЗЕ СКМ SCILAB МЕТОДОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ИЗ УРАВНЕНИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НЕЙ 41

Дорофеева О.С., Казаков Б.В., Казакова И.А.
КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ БЛОКОВ БАЗЫ ДАННЫХ, ОСНОВАННЫЙ НА ПРОСТЫХ ЦЕПЯХ МАРКОВА 44

Пономарёв В.Н., Плеханов М.М.
ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ ДЛЯ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ 45

Кузина Е.А., Юркова Е.М.
К ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ 49

Жаднов В.В.
МОДЕЛЬ МАГИСТРАЛЬНО-МОДУЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЕГО НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СМЕШАННОМ РЕЗЕРВИРОВАНИИ ЕГО КАНАЛОВ 52

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ, КАЧЕСТВА, ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 56

Аппазова Ш., Ергалиев Д.С., Муканова К., Советкажиев А., Ракишев Ж.Б.
УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ 56

Полтавский А.В., Юрков Н.К., Федянина В.А.
ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ЭНТРОПИЙНОГО АНАЛИЗА ПЕРЕДАЧИ СИМВОЛОВ И ЗНАКОВ В СЕТЕВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ 58

Соловьев В.А., Суров П.В., Сурова Е.Э.
ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ 61

Власов А.И., Карпунин А.А., Курышев Р.Э.
ВИЗУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ SMART-ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ *64*

Сысуев В.А., Яньков Р.В., Лысенко А.В., Алмаметов В.Б., Тюрина Л.А.
СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
ОТ ВНЕШНИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ *70*

Рыбаков И.М., Андриянов А.Р., Петров П.Э.
АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСХЕМ
ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КОРПУСА *74*

Михеев М.Ю., Прокофьев О.В., Сёмочкина И.Ю.
СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДРЕВОВИДНЫХ КАРТ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ *76*

Якимов А.Н.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГИКИ ПРЕДИКАТОВ В МОДЕЛЯХ МИКРОВОЛНОВЫХ АНТЕНН, РЕАЛИЗУЕМЫХ В MATLAB *79*

Шерстнев В.В., Безбородова О.Е., Бодин О.Н.
К ВОПРОСУ О НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ *81*

Онласкан С.Б., Жакупова А.Е., Абдирашев О.К., Ануар Г.А., Ергалиев Д.С.
ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ НАНОСПУТНИКОВ СЕМЕЙСТВА SAMSAT *83*

Абилхасымов Д.М., Фазылбекулы Е., Абдирашев О.К., Ертаева П.К., Ергалиев Д.С. *88*
ПЕРЕЛЕТ МЕЖДУ КОМПЛАНАРНЫМИ ОРБИТАМИ С ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫМИ АКТИВНЫМИ УЧАСТКАМИ

Костюков А.С., Башкиров А.В., Астахов Н.В., Демихова А.С., Никитин Л.Н.
ПРИМЕНЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ *90*

Романенко Ю.А., Свиридов В.В., Повшенко Г.Т.
ФОРМАЛИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ ВЫРАБОТКИ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ
В УСЛОВИЯХ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ МЕХАНИЗМА АКТИВНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ *92*

Астапенко Ю.В., Поляков В.П., Романенко Ю.А.
АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИЧНОСТИ В ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ *94*

Алферов Ю.В., Семенюк А.В., Сычев И.В., Минаков С.Н., Громов Ю.Ю.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАХОСТИЧЕСКИХ И ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СКРЫТЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ *97*

Алферов Ю.В., Семенюк А.В., Сычев И.В., Верещагин Д.Ю., Громов Ю.Ю., Губсков Ю.А.
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «БАСТИОН» КАК СРЕДСТВО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБЪЕКТА *101*

Семенюк А.В., Сычев И.В., Алферов Ю.В., Громов Ю.Ю., Шатских В.В., Губсков Ю.А.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕРЕЗ АНАЛИЗ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОБСТАНОВКИ
БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SDR-ПРИЕМНИКА *104*

Рогачёв А.И., Шайхаматов А.А., Попов Д.С.
ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КАНАЛА СВЯЗИ С УЧЕТОМ НЕПОЛНОТЫ ДАННЫХ *108*

Башкиров А.В., Семенова П.С., Турецкий А.В., Худяков Ю.В.
МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ АНТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ *110*

Гришко А.К., Андреев П.Г., Тумакова И.А., Мокшанцева А.В., Моисеев А.В., Пакайкин А.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАДИОСВЯЗИ *114*

Старостин И.Е., Халютин С.П.
ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА
В РЕЖИМЕ РАЗРЯДА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ *116*

Фролов С.И., Таньков Г.В., Кочегаров И.И., Данилова Е.А., Трусов В.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ ТОНКОСТЕННЫХ КОРОБЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ БОРТОВЫХ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ *120*

Юдин А.А., Жихарев К.В., Кочегаров И.И.
ОТСЛЕЖИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА ПО КЛЮЧЕВЫМ ПАРАМЕТРАМ *124*

Петров П.Э., Андреев П.Г., Андрианов А.Р., Наумова И.Ю.
СОВРЕМЕННЫЕ ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО УСКОРЕНИЯ *126*

Диго Г.Б., Диго Н.Б.
ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ *128*

Назаров Д.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЛЯ АНАЛИЗА
ДЕГРАДАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ *130*

Кривопалов Д.М., Юркевич Е.В., Крюкова Л.Н.
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРИОБРЕТЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ *134*

ГЛАВА 3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ, ПРОЕКТИРОВАНИИ, ПРОИЗВОДСТВЕ И ЭКОНОМИКЕ *137*

Касумаев Б.А.
ПЕРЕХОД К ВИРТУАЛЬНОСТИ – БУДУЩЕЕ ОБРАЗОВАНИЯ *137*

Ширинкина Е.В.
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УРОВЕНЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ *139*

Надейкина Л.А., Петрушин В.В.
РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕКСТА ВОПРОСОВ ПО СМЫСЛУ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЕ АЭРОПОРТА *141*

Канафин М.Ж., Ондрисов Д.Б., Рустемов А.Р., Керимбай Б.Н., Жакупова А.Е., Ергалиев Д.С.
МОНИТОРИНГ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИХ СНИМКОВ *145*

Yemelyev A., Moldamurat Kh., Yergaliyev D., Nurbyergen Y., Koshkarbay N.Zh.
SCOPE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE XXI CENTURY *148*

Затучный Д.А., Головина Д.П.
РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ *151*

Затучный Д.А., Маслов А.К., Эрич М.Й.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ В РАДИОСВЯЗНОМ КАНАЛЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ ПОЛЁТЕ В ПОЛЯРНЫХ ШИРОТАХ *155*

Маслобоев А.В., Путилов В.А.
ПРОБЛЕМАТИКА И ИНСТРУМЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РЕГИОНА *157*

Кожабек Ж.А., Молдамурат Х., Ергалиев Д.С., Сапабеков А.Е., Толеубай Н.
АРХИТЕКТУРА СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ GPS *164*

Копнин Н.М., Муравьев К.А., Серова Е.М.
МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ *167*

Будылдина Н.В., Юрченко Е.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ ПАКЕТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ НЕОДНОРОДНОМ ТРАФИКЕ *169*

Будылдина Н.В., Хурматов Р.И., Соловаров И.В.
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ПАКЕТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ТРАФИКА В СЕТИ MPLS-TP *172*

Юрков Н.К., Якимов А.Н.
ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ВУЗАХ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ *176*

Гузаиров М.Б., Фрид А.И., Вульфин А.М., Берхольц В.В.
ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕТРИИ *178*

Орнов А.К., Ануар Г.А., Абдирашев О.К., Калманова Д.М., Ергалиев Д.С.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ОДНООСНОЙ ОРИЕНТАЦИИ НАНОСПУТНИКА ПО АНАЛИЗУ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ВИДИМОСТИ *183*

Ахмедов Б.М., Садуов Ж.Ж., Абдирашев О.К., Токумбеков А.А., Ергалиев Д.С.
РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНООСНОЙ ОРИЕНТАЦИИ В СРЕДЕ MATLAB *185*

Ибрагимов Б.Г., Мехтиева А.М., Бахтияров И.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ТРАКТОВ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА *188*

Мамедов Г.А., Ибрагимов Б.Г., Алиева А.М., Намазов М.
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ. СИСТЕМА СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕЙ *190*

Трефилов П.А.
ХРАНЕНИЕ И ПОИСК СХОЖИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ТЕМПОРАЛЬНЫХ БАЗАХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЦЕПТИВНЫХ ХЭШ-СТРОК *192*

Аль-Араджи З.Х.М., Макаров О.Ю., Муратов А.В., Турецкий А.В., Худяков Ю.В.
СПОСОБ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ *197*

Вьюгина С.В., Вяткина И.В., Слепнева Е.В.
ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК СРЕДСТВО СТИМУЛИРОВАНИЯ САМООБРАЗОВАНИЯ *199*

Вьюгина С.В.
НАУЧНЫЙ СТИЛЬ: ЛЕКСИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *201*

Вяткина И.В.
ВНЕДРЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ – ТРЕБОВАНИЕ СОВРЕМЕННОСТИ *203*

Вьюгина С.В., Галимзянова И.И.
РУССКИЙ ЯЗЫК КАК ИНОСТРАННЫЙ: ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРЕПОДАВАНИЯ *205*

Рязапова Л.З., Загрутдинова А.К.
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА *206*

Рязапова Л.З., Китаева Л.А.
ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСНОВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ *208*

Макарова И.А., Прохоров В.Ю.
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ. МЕТОД CASE STUDY В ПРЕПОДАВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН *212*

Ципина Н.В., Карпухин Д.Н.
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ПОИСКА И ПОДБОРА РАДИОКОМПОНЕНТОВ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ *214*

Аксенов А.С., Алексеев В.В., Вагин В.В., Власов Ю.А.,
Краюхин С.Б., Залозный Н.В.
ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВ
ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ *216*

Кирдяев М.М., Наумова И.Ю.
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, ПРИМЕНЯЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА *219*

Фролов С.И., Кочегаров И.И., Таньков Г.В., Данилова Е.А., Рыбаков И.М.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПОНОВКИ БЕЗРЕЗОНАНСНЫХ БЛОКОВ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ *222*

Струнин А.Н., Шалавин А.А., Данилова Е.А.
АНАЛИЗ МЕТОДОВ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ: ОТ САМЫХ ПЕРВЫХ ДО ПРООБРАЗОВ СОВРЕМЕННЫХ *229*

Гордеева Е.В., Данилова Е.А., Шорников Ю.Е., Подсякина А.Ю.
АНАЛИЗ АЛГОРИТМА РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИНЕЙКУ *232*

Лапшин, Э.В., Байгузова, А.В., Шорников, Ю.Е.
РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЕЁ РАЗРАБОТКОЙ *234*

Щербакова А.А., Савицкий В.Я., Кабина С.В., Туляков К.П.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВ *236*

Хвостов А.В., Макаров О.Ю.
КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭВОЛЮЦИОННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ *238*

Бушмелева К.И., Майоров В.В.
АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ
ПЕРСОНАЛА НЕФТЕГАЗОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ *241*

Занин А.С., Бушмелева К.И., Увайсов С.У.
МЕТОД И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОИСКА И УСТРАНЕНИЯ ОШИБОК
ПАРАМЕТРОВ ТЕЛЕМЕТРИИ ДИСПЕТЧЕРСКОГО ЦЕНТРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ *245*

Власов М.А., Сучков А.В., Сергин С.Ф.
К ВОПРОСУ О ПОДТВЕРЖДЕНИИ ЧИСЛЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ
И БЕЗОПАСНОСТИ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ *251*

Алимова Е.А., Аверин И.А.
АНАЛИЗ ВОДОРОДНОЙ ХРУПКОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБРАЗЦОВ МЕДИ
МЕТОДОМ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ *254*

Сигаев А.П., Аверин И.А., Карманов А.А., Пронин И.А., Якушова Н.Д.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ЦЕНТРОВ АДСОРБЦИИ
НА ПОВЕРХНОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ SiO_2- SnO_2 *257*

Крупкин Е.И., Аверин И.А., Пронин И.А., Карманов А.А., Якушова Н.Д.
МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ОТЖИГА НА УДЕЛЬНУЮ ПЛОЩАДЬ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЁНОК ОКСИДА ЦИНКА *260*

Северцев Н.А., Майстер В.А., Юрков Н.К.
К ПРОБЛЕМЕ КЛАССИФИКАЦИИ УГРОЗ И ОПАСНОСТЕЙ ПРИ РАБОТЕ СЛОЖНОЙ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СИСТЕМЫ *262*

Ковтун Л.И., Крюков О.В., Саушев А.В., Антоненко С.И.
АНАЛИТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
РИСКОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ *264*

Лахменев А.С., Саушев А.В.
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО КРИТЕРИЯМ ТОЧНОСТИ
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ЗАТРАТАМ *269*

Глухов И.А., Сенкевич А.Ю.
МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ СВАРНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ СВАРКЕ *271*

Шуваев В.Г., Крылова И.А.
ЗАТЯЖКА РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО КРИТЕРИЮ ДОСТИЖЕНИЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ *274*

Шлыков В.А., Гордеева О.А.
ФОРМИРОВАНИЕ КОНТЕКСТНОЙ РЕКЛАМЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СЕТЕВОЙ АКТИВНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ *276*

Доросинский А.Ю., Недорезов В.Г.
МЕТОД КОНТРОЛЯ СОСТАВА ГАЗОВОЙ СРЕДЫ В ПОДКОРПУСНОМ ПРОСТРАНСТВЕ РЕЗИСТИВНЫХ МИКРОСХЕМ *280*

Доросинский А.Ю., Недорезов В.Г., Доросинская Ю.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ *282*

Доросинский А.Ю.
РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОСТИ РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ *284*

Ефимов А.А., Кудрина М.А., Гордеева О.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ
НА КАЧЕСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА *285*

Северцев Н.А., Савин Ю.А.
ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ *288*

Бабишин В.Д., Некрасов В.В.
МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА С МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ
ПО СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ДЛЯ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ *292*

Афанасьев М.Е., Марченко В.В., Суряев Е.С
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПЕРЕДАЧЕ ИНДУКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ *295*

Михеев М.Ю., Батова В.Н., Волков А.Г.
ТЕХНОЛОГИИ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ» В СОВРЕМЕННОМ АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ *298*

Алексеев В.В., Яковлев А.В., Мазалов А.Н., Косинов Е.С.
АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ РЕСУРСОВ СЕТЕВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ *302*

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ *306*

Научное периодическое издание

ТРУДЫ
Международного симпозиума

НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО

Том 1

Все материалы представлены в авторской редакции

Компьютерный дизайн и верстка
В. А. Трусова

Подписано в печать 18.05.2020. Формат 60×84 1/8.
Усл. печ. л. 38,36.
Заказ № 87.1. Тираж 500.

Отпечатано с готового оригинал-макета.
440026, Пенза, Красная, 40, Издательство ПГУ
Тел./факс: (8412)-56-47-33;
e-mail: iic@pnzgu.ru