



ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Тамбовской области
Управление образования и науки Тамбовской области
**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»**
Институт энергетики, приборостроения и радиоэлектроники

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Материалы Всероссийской научной конференции

(г. Тамбов, 17–18 декабря 2019 года)

Научное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2020

УДК 658.26
ББК 31.3
Ц75

*Конференция проведена при финансовой поддержке
Администрации Тамбовской области в рамках проекта № 2-НМ-19*

Председатель конференции – Д. Ю. Муромцев

Редакционная коллегия:

Т. И. Чернышова – *ответственный редактор*,
С. П. Москвитин – *зам. ответственного редактора*,
А. Н. Грибков, А. В. Кобелев, А. П. Пудовкин,
Н. Г. Чернышов, С. В. Фролов, С. Н. Баршутин

Ц75 **Цифровая** трансформация в энергетике : материалы Всероссийской научной конференции. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дискковод ; 9,5 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2203-5

Представлены доклады участников Всероссийской научной конференции «Цифровая трансформация в энергетике». Рассмотрены вопросы эффективного использования энергоресурсов, построения эффективных систем переработки, передачи и хранения энергии, применения нетрадиционных источников энергии, разработки энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий, развития производственных отношений на основе цифровых подходов и средств.

Материалы сборника могут быть полезны студентам-исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

УДК 658.26
ББК 31.3

Организаторы конференции и издательство не несут ответственности за материалы, опубликованные в сборнике. Все материалы представлены в авторской редакции и отображают персональную позицию участников конференции.

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Незаконное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2203-5

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2020

ЗНАЧИМОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ

Цифровизация является актуальной тенденцией, направленной на повышение эффективности работы всех отраслей производства, в том числе топливно-энергетического комплекса региона и страны в целом.

Низкие темпы роста эффективности энергетики являются сдерживающим фактором для развития экономики. Задача цифровизации экономики в 2017 г. была включена в перечень основных направлений развития страны до 2025 гг.

Частью цифровой экономики, согласно разработанной стратегии, становится цифровая энергетика, предусматривающая программу трансформации теплоэнергетического комплекса. Цифровая трансформация позволяет энергетическим предприятиям региона и страны в целом увеличить показатели эффективности отрасли в краткосрочный период.

Основными задачами, требующими своего решения при реализации программы цифровизации региона, являются: применение передовых цифровых технологий в информационных системах управления энергообъекта, оснащение развитыми информационно-технологическими и управляющими средствами, разработка интеллектуальных систем учета электроэнергии и энергомониторинга, применение беспилотных летательных аппаратов, систем видеоконтроля, мобильных систем и ряда других.

Успех в решении таких задач требует внедрения передовых достижений, которые представлены в рамках секционных и стендовых докладов Всероссийской научной конференции «Цифровая трансформация в энергетике».

Конференция проведена при поддержке Администрации Тамбовской области в рамках проекта № 2-НМ-19.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Муромцев Дмитрий Юрьевич – председатель программного комитета, д-р техн. наук, проф., проректор по научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Чернышова Татьяна Ивановна – сопредседатель программного комитета, д-р техн. наук, проф., директор Института энергетики, приборостроения и радиоэлектроники ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Чернышов Николай Генрихович – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Белоусов Олег Андреевич – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Грибков Алексей Николаевич – д-р техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Балашов Алексей Александрович – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Кобелев Александр Викторович – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Зарандия Жанна Александровна – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Пудовкин Анатолий Петрович – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Кольтюков Николай Александрович – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Фролов Сергей Владимирович – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Секретари конференции

Москвитин Сергей Петрович – ответственный секретарь, канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

Баршутин Сергей Николаевич – ученый секретарь, канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов).

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ,
проект 17-08-00457-а*

**Муромцев Д. Ю., Букурако Ю. К.,
Шамкин В. Н., Шибирина И. О.**

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЕСТАБИЛИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Аннотация. Рассмотрены методологические вопросы создания экспертной системы реального времени, позволяющей осуществить переход от работы технологического объекта в номинальном или близком к нему режиме к реальному функционированию.

Ключевые слова: дестабилизационное управление, объект, экспертная система.

В условиях рыночного производства для промышленных предприятий необходимо быстро и эффективно перестраивать свою работу по запросам потребителей их продукции, а управлять технологическими объектами так, чтобы достигался наилучший в некотором смысле результат. Решение задач управления многомерными технологическими объектами в режиме реального времени и, в первую очередь, решение задач перевода с одного технологического режима, соответствующего некоторой производительности по целевым продуктам, на другой режим, обеспечивающий новую производительность, вызывают серьезные трудности. Поскольку модели статики и динамики, используемые при управлении таких объектов, весьма сложны, необходимо разрабатывать и использовать новые информационные технологии, позволяющие избежать упомянутых трудностей.

Среди интеллектуальных систем, и в частности экспертных систем (ЭС), интерес для целей управления технологическими объектами представляют динамические экспертные системы реального времени (ЭС РВ). В их архитектуру, по сравнению с обычными (статическими) ЭС, вводят блоки моделирования внешнего мира, связи с внешним окружением и учитывают временную логику обрабатываемых событий. Они обладают средствами самостоятельного извле-

чения знаний из данных, поступающих в систему в ходе ее создания и эксплуатации, и способны обнаруживать противоречия между имеющимися и вновь поступающими знаниями и данными.

Необходимо разработать ЭСУ РВ многомерным технологическим объектом, которая обеспечит его функционирование при изменяющемся потреблении целевых продуктов. Для достижения поставленной цели надо провести исследования, связанные: с приобретением и извлечением знаний о работе технологического объекта при различных производительностях по целевым продуктам; описанием знаний на специальном языке представления знаний; разработкой базы знаний (БЗ) и выбором рациональной оболочки для ЭСУ РВ.

Знания о работе технологического объекта можно получить от экспертов (производственников, обладающих большим опытом управления объектом) лишь в номинальном технологическом режиме и близких к нему. Очевидно, что невозможно реализовать и исследовать в производственных условиях технологические режимы, соответствующие другим производительностям по целевым продуктам, но не имевшим место на практике. Поэтому необходимо проведение обширного вычислительного эксперимента на математических моделях объекта, который позволит получить новые знания о работе объекта во всем возможном диапазоне его производительности. Имеются в виду знания о статических и динамических свойствах объекта, о допустимых режимах работы и о переводе на другую производительность. В результате анализа полученных знаний создают БЗ, архитектуру ЭСУ РВ, осуществляют выбор приемлемой формы программной реализации.

С помощью математических моделей объекта изучают свойства в режимах его функционирования, соответствующих производительностям по целевым продуктам из возможного диапазона работы. Из полученных сведений по статическим характеристикам приобретают знания: о чувствительности выходных переменных к входным воздействиям; наиболее эффективных управляющих воздействиях; свойствах областей допустимых управлений (ОДУ) и алгоритмах перевода объекта с режима на режим. Под ОДУ понимают некоторую область в пространстве изменения управляющих воздействий, соответствующую заданной производительности объекта по целевым продуктам, реализация управляющих воздействий внутри которой обеспечивает качество получаемых продуктов не хуже заданного. Анализ различных ОДУ с точки зрения их пересечения (наличия общих областей) характеризует возможность перевода объекта с одного режима работы на другой и наоборот.

Для обеспечения эффективного функционирования объекта для каждого промежутка времени, в течение которого он производит требуемые целевые продукты, находят оптимальные статические режимы путем решения соответствующих задач статической оптимизации. Их решения используют при нахождении оптимальных дестабилизационных режимов в процессе решения задачи дестабилизационной оптимизации на интервале времени изменения потребности в целевых продуктах [1].

В условиях, когда производительность объекта на достаточно большом временном интервале меняется неоднократно, следует осуществлять такую последовательность технологических операций, называемую переводом с режима на режим, которая приведет к реализации соответствующего оптимального дестабилизационного режима работы. В процессе перевода производят изменение управляющих воздействий и отборов целевых продуктов так, чтобы не выходить за пределы соответствующих ОДУ, т.е. не ухудшать качество продукции. Для сохранения устойчивости объекта при переводе отключают все регуляторы технологических переменных, которые могут «раскачать» объект.

Решение вопросов, связанных с построением БЗ для ЭСУ РВ, т.е. с извлечением знаний из информации, полученной путем моделирования и приобретенной от экспертов, завершают выбором наиболее эффективной формы представления знаний и реализации их на специальном языке. Извлеченные знания, называемые «гибридными», позволяют пространство изменения управляющих воздействий разбить на подобласти, соответствующие разным комбинациям характеристик качества получаемых целевых продуктов. Строят древовидный граф целей, аккумулирующий все знания об управлении объектом. Для представления знаний выбирают производственную модель, в которой знания описывают в виде правил «условие–действие», использующую цепочку обратного логического вывода. Разрабатывают совокупность правил продукций, реализация которых позволяет перевести объект с режима на режим во всех исследованных случаях.

ЭСУ РВ объекта является частью АСУ ТП объекта, функционирующего в режиме переменной производительности по целевым продуктам. На основе инструментальных средств, используемых при построении ЭС, выбирают оболочку, обеспечивающую решение всего комплекса задач, связанных с управлением объектом в процессе его перевода с режима на режим. Для функционирования ЭСУ необходимы БД: готовых решений; оптимальных управляющих воздействий; математических моделей объекта; запрещенных переводов с режима на режим; определения управляющих воздействий; производственных

правил. Все БД связывают между собой соответствующей системой управления базами данных.

Использование ЭСУ РВ позволит осуществить на практике переход от работы многомерного технологического объекта только в номинальном или близких к нему режимах к фактическому функционированию, которое обеспечит адекватное реагирование на изменение нагрузки по целевым продуктам.

Список литературы

1. Shamkin, V. N. Using destabilization control to improve the functioning of complex multidimensional technological objects on the time interval / V. N. Shamkin, D. Yu. Muromtsev, A. N. Gribkov // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – V. 12, № 24. – P. 7198 – 7217.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта РФФИ № 17-08-00457-а «Разработка методологии построения интеллектуальных систем энергосберегающего управления многомерными технологическими объектами на множестве состояний функционирования»

Тюрин И. В., Токарев Р. А.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХКОНТУРНОЙ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ

Аннотация. Рассмотрены общие принципы построения интеллектуальной системы энергосберегающего управления двухконтурной солнечной водонагревательной установкой.

Ключевые слова: система энергосберегающего управления, интеллектуальная система, водонагревательная установка, микропроцессор.

Тенденцией развития альтернативных источников энергии является достаточно широкое использование солнечной энергии для снабжения горячей водой индивидуальных коттеджей, малоквартирных домов, а также компактных поселений. В странах с тропическим климатом водонагревательные установки, как правило, выполняют одно-

контурными, в которых нагрев воды осуществляется только за счет энергии Солнца. В умеренных широтах такие установки целесообразно выполнять по двухконтурной схеме, чтобы обеспечить их круглогодичное использование [1].

Первый контур состоит из солнечного коллектора, теплообменника с насосом и расширительным баком, а второй контур образован баком-аккумулятором, теплообменником и дополнительным источником энергии (ДИЭ), обычно представляющим собой электрический или газовый котел. Холодная вода подводится в нижнюю часть бака-аккумулятора, а вода, нагретая в теплообменнике, поступает в верхнюю часть, а оттуда через смеситель и ДИЭ подается потребителям. ДИЭ необходим для нагрева воды до необходимой температуры при отсутствии солнечной радиации, недостаточном ее поступлении или в случае необходимости быстрого нагрева воды.

При создании интеллектуальных систем энергосберегающего управления возникает потребность выбора таких микропроцессорных технических средств, которые способны поддерживать связь с объектом управления в реальном времени [2]. Рассмотрим пример построения структуры интеллектуальной системы энергосберегающего управления для двухконтурной водонагревательной установки, в которой в качестве ДИЭ применен электрический котел емкостью 100 л. Для доведения воды, подаваемой потребителям, до нужной температуры, а затем поддержания ее в заданных диапазонах происходит периодическое подключение к электропитанию нагревательных элементов ДИЭ. Управляющее воздействие u формируется блоком управления с учетом сигналов обратной связи, поступающих от термодатчиков (t_1 , t_2) (рис. 1). Забор холодной воды, разбор горячей и слив бака также выполняются автоматически подачей сигналов управления на клапаны К1 – К3.

В базе знаний, расположенной на сервере, содержатся сведения, полученные от экспертов, результаты полного анализа энергосберегающего управления, алгоритмы идентификации [3]. На АРМ оператора системы управления установлена среда разработки приложений ISaGRAF Workbench, позволяющая при необходимости перенастроить контроллер на другие режимы управления водонагревателем, а также дистанционно контролировать работу водонагревательной установки.

Динамический процесс нагрева воды в ДИЭ до температуры 90 °С, необходимой для разогрева бака-аккумулятора, занимает длительное время при эксплуатации двухконтурной водонагревательной установки (около 2 часов), поэтому энергосберегающее управление позволит сэкономить до 10% электроэнергии [3], а следовательно, и повысить эффективность всей двухконтурной водонагревательной установки.

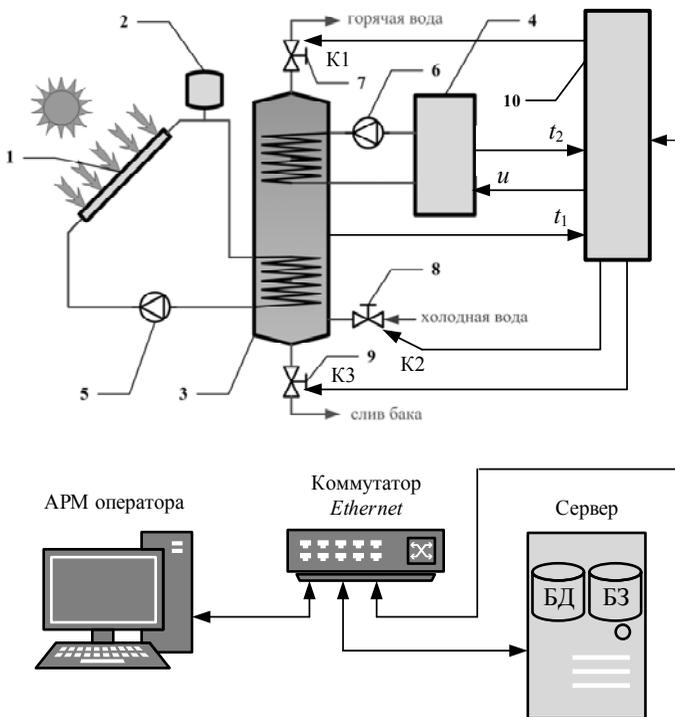


Рис. 1. Структура интеллектуальной системы управления:
 1 – солнечный коллектор; 2 – расширительный бак; 3 – бак-аккумулятор;
 4 – дополнительный источник тепловой энергии; 5, 6 – насосы;
 7 – 9 – вентили; 10 – микропроцессорный блок управления

Список литературы

1. Попель, О. С. Солнечная Россия / О. С. Попель, И. П. Прошкина // В мире науки. – 2005. – № 1. – С. 14 – 18.
2. Колесников, А. В. Алгоритм синтеза функциональных гибридных интеллектуальных систем с гетерогенным визуальным полем / А. В. Колесников, С. В. Листопад // Системы и средства информатики. – 2017. – Т. 27, № 3. – С. 112 – 125.
3. Shamkin, V. N. Using destabilization control to improve the functioning of complex multidimensional technological objects on the time interval / V. N. Shamkin, D. Yu. Muromtsev, A. N. Gribkov // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – V. 12, № 24. – P. 7198 – 7217.

Майникова Н. Ф., Рогов И. В., Гришин А. В., Трофимов Д. В.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Разработана математическая модель теплопроводности от плоского источника тепла постоянной мощности, воздействующего на поверхность объекта из двухслойного материала.

Ключевые слова: двухслойные изделия, неразрушающий контроль, математическое моделирование, тепловое воздействие постоянной плотности, теплофизические свойства.

Теоретическое обоснование метода неразрушающего теплофизического контроля при воздействии плоского источника тепла постоянной мощности на поверхность объекта из двухслойного материала не учитывает перераспределение потоков тепла между исследуемым объектом и подложкой измерительного зонда [1].

Цель данной работы – получение более точной математической модели распространения тепла от плоского источника тепла постоянной мощности, воздействующего на поверхность двухслойного объекта. Предложено исследовать схему, состоящую из ограниченного в тепловом отношении тела и двух полуограниченных тел (рис. 1).

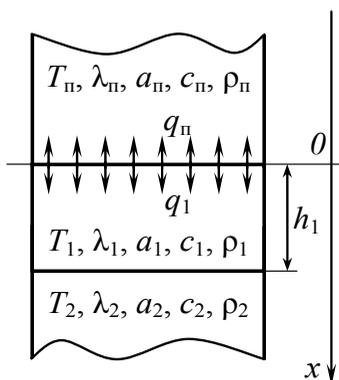


Рис. 1. Тепловая схема метода, соответствующая действию источника тепла постоянной мощности, расположенного в плоскости контакта подложки зонда и двухслойного изделия

На рисунке 1 и далее по тексту приняты следующие обозначения: T_i – избыточная температура; x – координата; τ – время; q – плотность теплового потока; a_i , c_i , λ_i , ε_i – теплофизические свойства, соответственно температуропроводность, удельная теплоемкость, теплопроводность и тепловая активность i -го тела; C_n – теплоемкость единицы площади бесконечного плоского нагревателя; ρ – плотность, кг/м^3 . Индексы: 1, 2 – материалы первого и второго тел; п – материал подложки измерительного зонда (ИЗ).

Математическая постановка задачи:

$$\partial T_1(x, \tau) / \partial \tau = a_1 \left[\partial^2 T_1(x, \tau) / \partial x^2 \right], \quad \tau > 0, \quad 0 < x < h_1; \quad (1)$$

$$\partial T_2(x, \tau) / \partial \tau = a_2 \left[\partial^2 T_2(x, \tau) / \partial x^2 \right], \quad \tau > 0, \quad h_1 < x < \infty; \quad (2)$$

$$\partial T_n(x, \tau) / \partial \tau = a_n \left[\partial^2 T_n(x, \tau) / \partial x^2 \right], \quad \tau > 0, \quad -\infty < x < 0; \quad (3)$$

$$T_1(x, 0) = T_2(x, 0) = T_n(x, 0) = 0; \quad (4)$$

$$T_1(0, \tau) = T_n(0, \tau); \quad (5)$$

$$T_1(h_1, \tau) = T_2(h_1, \tau); \quad (6)$$

$$-\lambda_1 \left[\partial T_1(h_1, \tau) / \partial x \right] = -\lambda_2 \left[\partial T_2(h_1, \tau) / \partial x \right]; \quad (7)$$

$$q = -\lambda_1 \left[\partial T_1(0, \tau) / \partial x \right] + \lambda_n \left[\partial T_n(0, \tau) / \partial x \right] + C_n \left[\partial T_1(0, \tau) / \partial \tau \right]; \quad (8)$$

$$T_2(+\infty, \tau) = T_n(-\infty, \tau) = 0. \quad (9)$$

Для неразрушающего теплофизического контроля свойств заявленных объектов измеряются температура на поверхности первого тела (с помощью термопары) и плотность теплового потока, выделяющегося на нагревателе (на рис. 1 нагревателю соответствует плоскость, имеющая координату $x = 0$). Для определения теплофизических свойств (ТФС) отдельных слоев исследуемого двухслойного изделия, необходимо «прогреть» его на глубину, больше толщины первого слоя h_1 . Такому прогреву двухслойного изделия отвечает решение краевой задачи (1) – (9) относительно q , соответствующее большим значениям времени τ .

Упрощение краевой задачи за счет того, что на тепловой схеме (рис. 1) учитываются потоки тепла, выделяющегося на нагревателе, не только в исследуемое изделие, но и в подложку зонда, позволило (при разделении общего теплового потока на два) получить удобное решение [2].

В результате пере численного ряда преобразований иско мое решение имеет вид

$$T_1(0, \tau) = (2q\sqrt{\tau}) / ((\varepsilon_2 + \varepsilon_n)\sqrt{\pi}) + [(qh_1(\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2)) / \lambda_1 - qC_n](\varepsilon_2 + \varepsilon_n)^{-2}. \quad (10)$$

Выражение (10) возможно использовать для нахождения ТФС второго слоя объекта, если известны толщина первого слоя h_1 и тепло вая активность (ε_n) материала подложки ИЗ. При всех известных ТФС появляется возможность определения толщины первого слоя и воз можность контроля расслоений между слоями [3, 4].

Рассмотрим области применения полученного решения помимо уже указанных случаев. Следует отметить, что решение (10) позволяет также анализировать температурно-временные зависимости, получен ные измерительной системой (ИС) на различных двухслойных изделия х, в материалах которых происходят фазовые превращения, сопро вождающиеся выделением или поглощением тепла [5].

Во-первых, выражение (10) возможно использовать в тепловых методах неразрушающего определения характеристик структурных переходов (фазовых и релаксационных) в изделиях, на металлических основаниях которых выполнено покрытие из полимерного низкотепло проводного материала, в металлизированных пластиках или в двух слойных полимерных материалах с различными теплофизическими свойствами [6].

Во-вторых, выражение (10) используют в тепловых способах исследования жирового состава продуктов питания по известным тем пературам плавления, так как известно, что температура плавления существенно зависит от примесей.

По температуре плавления также можно идентифицировать жир, входящий в состав продуктов питания и определить степень его чистот ы [7]. Объектами исследований могут быть мясные продукты (говя дина, свинина, баранина и др.), шоколад и кондитерские изделия с его содержанием, какао, сыры, сыпучие молочные смеси для детского питания и др. [7, 8].

Список литературы

1. Теоретическое обоснование теплового метода неразрушающе го контроля двухслойных изделий / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов, Н. В. Лунева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. Сер. Технические науки. – 2009. – № 9(23). – С. 93 – 99.
2. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высшая школа, 1967. – 599 с.
3. Майникова, Н. Ф. Метод определения теплопроводности по крытий по упрощенной модели / Н. Ф. Майникова, А. Ю. Ярмизина //

Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – 2016. – С. 60 – 65.

4. Желтов, А. А. Определение толщины полимерных покрытий на металлических основаниях / А. А. Желтов, Н. Ф. Майникова // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент : материалы X Междунар. науч.-инновац. молодеж. конф. – 2018. – С. 132 – 134.

5. Майникова, Н. Ф. Измерительная система неразрушающего контроля структурных превращений в полимерных материалах / Н. Ф. Майникова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 9. – С. 45 – 48.

6. Методы и средства неразрушающего теплового контроля структурных превращений в полимерных материалах : монография / Н. Ф. Майникова, С. В. Мищенко, Н. П. Жуков, И. В. Рогов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 320 с.

7. Технологический контроль жиров и жирозаменителей : учебное пособие / под ред. О. Б. Рудакова. – СПб. : Лань, 2011. – 576 с.

8. Измерительная система контроля качества жиров в пищевой промышленности / Н. Ф. Майникова, С. О. Васильев, А. О. Антонов, О. Н. Попов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – Т. 20, № 2. – С. 261 – 267.

Еремин В. В., Савилов Н. А., Ряшенцев Н. И.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПЛИНТУСНОГО ОТОПЛЕНИЯ ПЕРЕД ТРАДИЦИОННЫМ

В условиях климата Тамбовской области к системам отопления предъявляются требования: эффективности, надежности, экономичности. Современные отопительные приборы подразделяются на два типа: панельно-лучистые (нагревающие предметы, от которых вторично нагревается воздух) и конвекционные (нагревающие воздух, которые нагревают помещение по средствам конвекции) [1]. Технология «теплый плинтус» относится к панельно-лучистому типу.

На рисунке 1 показаны технология «теплый плинтус» и традиционная система отопления, плинтус нагревает с помощью теплового излучения предметы (потолок, пол, мебель), излучающие тепло во все стороны, а предметы в свою очередь нагревают воздух [2]. Таким образом, достигается равенство температуры во всем помещении.

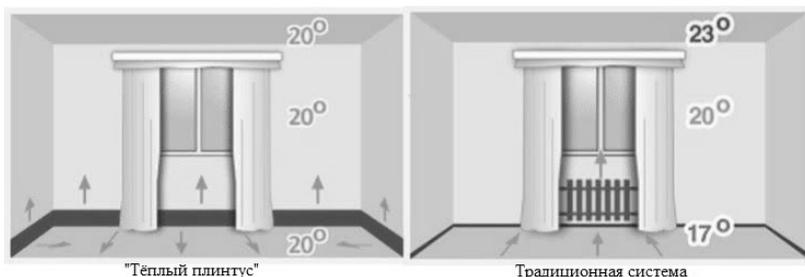


Рис. 1. Традиционная система и «теплый плинтус»

Принцип работы технологии «теплый плинтус», изображенный на рис. 2, основывается на эффекте Коанда. Свое название эффект получил в честь конструктора из Румынии Анри Коанды (Henri Coanda, 1886 – 1972), зафиксировавшим и описавшим условия, при которых струя воздуха при движении как бы «прилипает» к поверхностям и распространяется вдоль них.

Технология «теплый плинтус» может использоваться как основное отопление, также на ее базе можно формировать и дополнительные источники теплоты, позволяющие решать проблему отопления в отечественном домостроении.



Рис. 2. Принцип работы технологии «теплый плинтус»

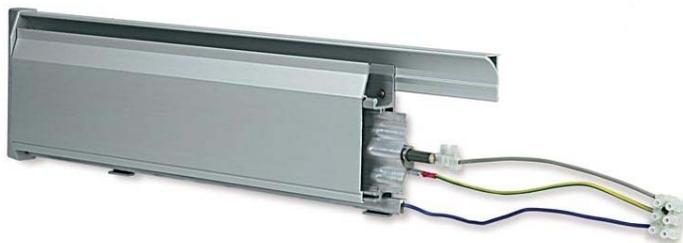


Рис. 3. Теплый плинтус

Технология «теплый плинтус» работает с любым видом котельного оборудования (твердое топливо, газ, дизель), а также с альтернативными тепловыми насосами и солнечными коллекторами.

Стандартные размеры отопительного плинтуса: длина участка 3 м, ширина 3 см, высота 14 см. В данном типе обогрева используется основной нагревательный элемент – алюминий или медь, который размещен в специальном корпусе, идущем вдоль плинтуса. Для питания конструкция подключается к электросети с напряжением 220 В. Максимальная мощность, на которой работают электрические полы, – 200 Вт, а минимальная мощность составляет всего 40 Вт. Из этого можно сделать вывод, что такой плинтус способен поддерживать оптимальную температуру при минимуме энергозатрат.

Технология «теплый плинтус» эффективна в качестве системы отопления жилого помещения. Она вырабатывает достаточно тепла для обогрева помещения. Для регулирования температуры в помещении и для повышения энергоэффективности используется система с термоэлектрическим нагревателем, также существует возможность установки регулятора мощности.

При соблюдении правил монтажа (контур не превышает длину 15 м) технология остается эффективной и в общественных зданиях (офисы, тренажерные залы, больницы, бассейны, музеи, церкви, концертные залы).

С учетом самой холодной пятидневки для поддержания комфортной для проживания температуры в квартире технология должна работать 13...15 ч в сутки на мощности 25 Вт/м². К примеру, в 3-комнатной квартире площадью 60 м² технология будет работать 15 ч в сутки, за месяц получим

$$30 \cdot 60 \cdot 15 \cdot 25 = 675 \text{ кВт.}$$

При средней стоимости 1 кВт в 4 р. получаем

$$675 \cdot 4 = 2700 \text{ р.,}$$

в то время как плата за отопление в среднестатистической 3-комнатной квартире в г. Тамбове составляет 3500 р. Таким образом, технология «теплый плинтус» дешевле на 20...30%.

Положительными свойствами системы отопления, основанной на технологии «теплый плинтус», являются:

- экономичность;
- отсутствие воздушного движения (конвекционного), сопровождающегося взвешиванием пыли;
- во всем объеме помещения одинаковая температура;
- отсутствие влаги на поверхностях стен;
- быстрый монтаж;
- терморегулятор позволяет настроить оптимальную температуру в каждом отдельном помещении.

Список литературы

1. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
2. Сканави, А. Н. Отопление : учебник для вузов / А. Н. Сканави, Л. М. Махов. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук,
доцента С. Н. Кузьмина*

Кобелев А. В., Романова М. Р., Терехов Н. Н.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

АНАЛИЗ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТАМБОВА

Аннотация. Рассмотрена возможность решения проблемы нехватки электроэнергии и повышения надежности электроснабжения потребителей за счет использования ветрогенераторов.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, ветроэнергетика, ветрогенератор.

Электроснабжение промышленных и бытовых потребителей г. Тамбова затруднено наличием дефицита свободной мощности у одних энергоснабжающих организаций (АО «ОРЭС Тамбов») и трудностью распределения и передачи существующих резервов у других ввиду отсутствия распределительных сетей и подстанций (филиал ПАО «МРСК Центра» – «Тамбовэнерго»). Устранение дефицита электроэнергии связано с рядом обусловленных трудностей в электро-

снабжении от существующих линий электропередачи, сооружений дополнительных: модернизация и строительство новых трансформаторных подстанций, решения целого ряда организационных вопросов. Удаленность таких объектов от системы электроснабжения требует повышенных капитальных вложений на электрификацию. Нерешенность этой задачи не позволяет подключать новых потребителей электроэнергии и снижает надежность и бесперебойность электроснабжения существующих.

Ограниченность традиционных источников электроэнергии является дополнительным стимулом к использованию альтернативных источников, таких как солнечная энергетика, ветроэнергетика, использование биотоплива и т.п.

Для исследования возможности использования альтернативных источников электроэнергии были проанализированы данные по скорости ветра по г. Тамбову за 2014 – 2018 гг. (рис. 1). Анализ показал, что величина средней скорости ветра по г. Тамбову составляет 3 м/с. В ходе исследования стало ясно, что в среднем максимум ветра около 4 м/с и приходится он на 15 ч (рис. 2).

Для выработки электроэнергии предлагается использовать ветрогенератор, выбор которого сделан в результате сравнения установок различного типа. Были оценены технические характеристики ветрогенераторов разного исполнения, высоты мачты и диаметра лопастей (рис. 3).

Сравнение предложенных генераторов показало, что с учетом распределения ветров наиболее предпочтительным для использования в г. Тамбове показал себя ветрогенератор AV-RC3 с выработкой 13 540,8 кВт·ч электроэнергии в год (против 2856 и 2654,4 кВт·ч соответственно).

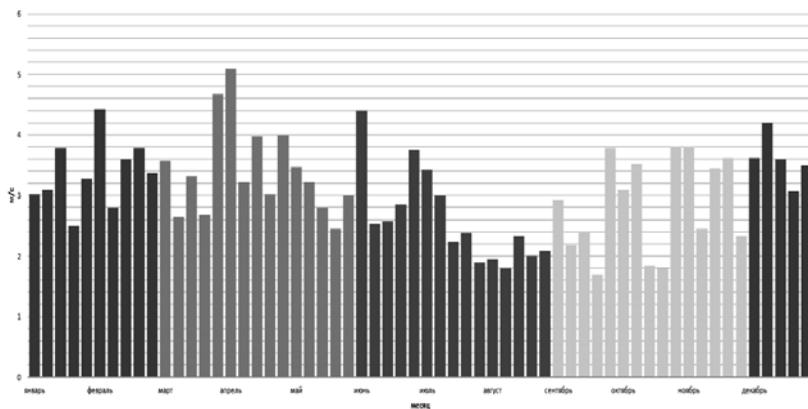


Рис. 1. Среднемесячная скорость ветра за период 2014 – 2018 годов

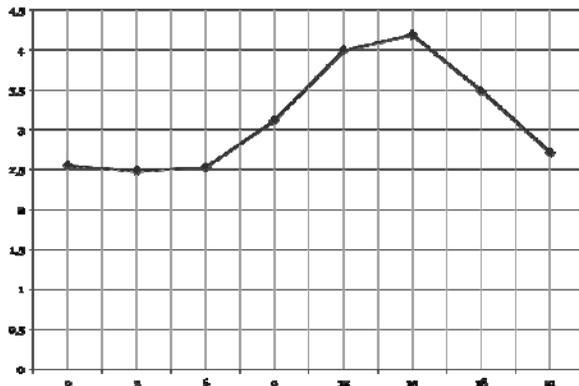
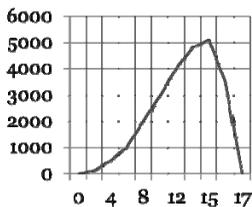
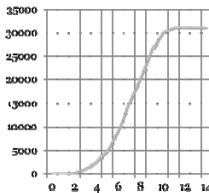


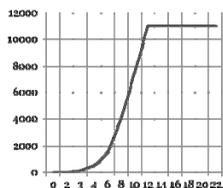
Рис. 2. Среднесуточная скорость ветра за период 2014 – 2018 годов



Ветрогенератор WE-3000



Ветрогенератор AV-RCS



Ветрогенератор ATMOSFERA AB-10

Рис. 3. Технические характеристики ветрогенераторов

Список литературы

1. Возможности применения гибридных ветросолнечных электростанций в Тамбовской области [Электронный ресурс] / С. А. Уваров и др. // Энергетика. Проблемы и перспективы развития : материалы IV Всерос. молодеж. науч. конф. – 2019. – С. 155 – 157.
2. Повышение качества электрической энергии путем использования альтернативных источников энергии / А. Н. Кагдин и др. // Энергетика. Проблемы и перспективы развития : тез. докл. 3-й Всерос. студенческой науч. конф. – 2017. – С. 201 – 203.
3. Энергосберегающие технологии в жилых помещениях для климатических условий Тамбовской области [Электронный ресурс] / Н. А. Савилов и др. // Энергетика. Проблемы и перспективы развития : материалы IV Всерос. молодеж. науч. конф. – 2019. – С. 138 – 140.
4. Захаров, А. О. Показатели качества электрической энергии в распределительных сетях до 1 кВ / А. О. Захаров, Ж. А. Зарандия // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – 2019. – С. 234 – 236.

Кобелев А. В., Карякин А. А., Липунцов Д. В.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Аннотация. Рассмотрены возможности применения накопителей в управлении качеством электрической энергии.

Ключевые слова: накопитель, распределенная электроэнергетика, качество электрической энергии, электромобили.

Распределенная энергетика – катализатор и ключевой элемент «энергетического перехода» от традиционной организации энергосистем XX века к новым технологиям и практикам XXI века. «Энергетический переход» осуществляется на базе децентрализации, цифровизации, интеллектуализации систем энергоснабжения, с активным вовлечением самих потребителей и всех видов энергетических ресурсов и характеризуется повышением энергетической эффективности и снижением выбросов парниковых газов (прежде всего за счет возобновляемых источников энергии) [1].

Российская Федерация находится на первом месте по площади зон децентрализованного электроснабжения. В различных литературных источниках показано, что около 70% территории России не подключено к центральным электрическим сетям. В связи с развитием арктических территорий актуальность внедрения автономных источников электрической энергии возрастает.

Переход к распределенной генерации не возможен без активного внедрения альтернативных источников энергии, сдерживающими факторами этого являются:

- пропускная способность линий ограничена, что сдерживает использование альтернативных источников в часы максимума нагрузок;
- энергетические компании сдерживают подключение дополнительной генерации к единой системе из-за плохой управляемости совместной работы большой генерации и малых источников энергии;
- влияние на альтернативные источники погодных факторов: солнечной активности, скорости ветра и пр., что снижает надежность их работы в единой системе;
- реверсивные перетоки, создаваемые распределенными источниками генерации, требуют пересмотра требований к средствам регулирования напряжения и релейной защиты, спроектированным для случая однонаправленного перетока мощности.

Важными элементами распределенной электрической сети являются накопители электрической энергии, позволяющие накапливать электрическую энергию в часы минимума электрической нагрузки, а в часы максимума электрической нагрузки поддерживать необходимый уровень напряжения, обеспечивая надежность и качество электрической энергии у потребителей (рис. 1).

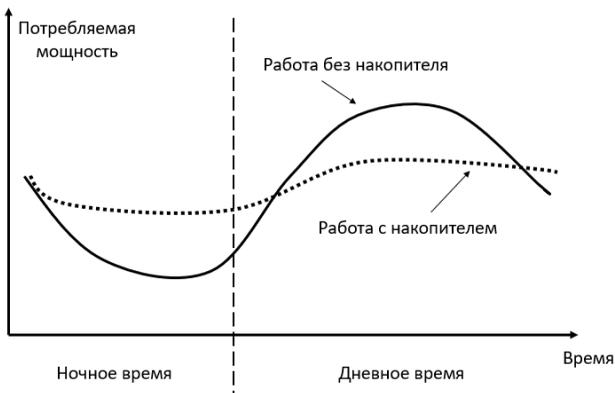


Рис. 1. Выравнивание электрической нагрузки с помощью накопителей

В часы пиковой нагрузки аккумуляторная батарея подключается через инвертор параллельно с сетью, снижая, таким образом, мощность потребления энергии из сети в установленные оператором плановые часы пиковой нагрузки в рабочий день. Подключение может осуществляться как в автоматическом, так и в ручном режимах (рис. 2) [2].

Наиболее популярные накопители электрической энергии, используемые в электроэнергетике:

1. Гидроаккумулирующие электростанции (Pumped Storage Hydropower).
2. Электрохимические аккумуляторы (Electrochemical Batteries).
3. Проточные электрохимические аккумуляторы (Flow Batteries).
4. Емкостные накопители (Supercapacitors, SCAPS).
5. Накопители на сжатом воздухе (Compressed Air Energy Storage, CAES).
6. Роторные накопители энергии (Flywheel Energy Storage).

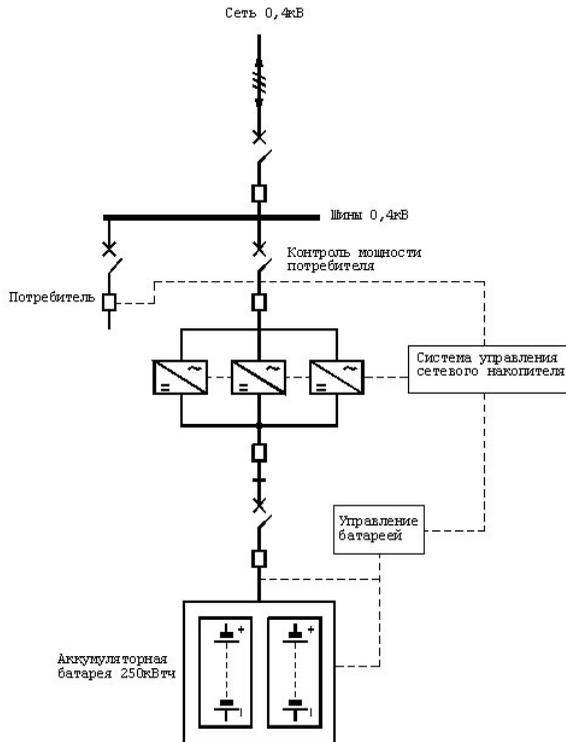


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема управления накопителями электрической энергии

В настоящее время во всем мире наблюдается рост рынка электромобилей. Так, в 2019 г. по итогам года продажи поднимутся на 23...48% и достигнут 2,4 млн шт. [3]. В России пока наблюдается незначительный рост, однако тенденции в изменении структуры автомобильного рынка наблюдаются. В этой связи необходим анализ существующих городских систем электроснабжения на предмет обеспечения электрической энергией заправочные станции.

К примеру, зарядка TeslaS85 с помощью зарядочной станции «суперзарядки» потребляет 90 кВт мощности и потребляемого тока до 240 А при напряжении 380 В. Это достаточно приличные цифры для зарядки одного автомобиля, при этом увеличение подобных автомобилей и их зарядка в вечерний период – максимальной бытовой нагрузки может вызвать серьезные проблемы обеспечения электрической энергией.

Применение накопителей в управлении качеством электрической энергии в городских системах электроснабжения при заряде электромобилей может снизить уровень коммунальной нагрузки. При этом необходимым условием является интеграция работы зарядок с интеллектуальными системами управления, позволяющими: распределить нагрузку между станциями в зависимости от уровня заряда подключенных электромобилей в пиковый период, а также сместить основной период заряда с пикового периода на время с низкой нагрузкой на сеть.

Список источников

1. Распределенная энергетика в России: потенциал развития [Электронный ресурс] // Энергетический центр Московской школы управления СКОЛКОВО. – М., 2018. – URL : https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER3.0_2018.02.01.pdf (дата обращения: 02.12.2019).

2. Сетевые накопители энергии (СНЭ) с использованием литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) [Электронный ресурс]. – URL : http://www.tensy.ru/sne_lia.html (дата обращения: 02.12.2019).

3. Электромобили (мировой рынок) [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 02.12.2019).

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. В статье на конкретном примере модели системы наведения описано, как средствами графической визуализации можно упростить и сделать эффективней процесс построения моделей аналоговых динамических объектов.

Ключевые слова: модель, обработка, ракета, промах.

Разработчик системы или процесса всегда должен предвидеть и оценивать последствия своей деятельности. Поэтому для проектируемой системы всегда необходима априорная оценка ее свойств.

Пусть некоторый сложный объект (система наведения ракеты на цель, в условиях применения последней ловушки-ретранслятора) обладает некоторым интересующим нас свойством H_0 (промах ракеты). Для получения математической модели, описывающей данное свойство, необходимо:

- 1) определить показатель этого свойства, т.е. определить меру свойства в некоторой системе измерения;
- 2) установить перечень свойств H_1, \dots, H_m , с которыми свойство H_0 связано некоторыми отношениями;
- 3) описать свойства внешней среды как внешние факторы (помеховые сигналы, шумы), влияющие на искомый показатель, внутренние свойства объекта, как параметры и константы блоков и subsystem, а неучтенные свойства отнести к группе факторов (w_1, \dots, w_p);
- 4) выяснить закономерные отношения между H_0 и всеми учитываемыми факторами и составить математическую модель.

В настоящее время существует множество систем графической визуализации. Мощным средством в этом ряду является Simulink пакета Matlab [1].

Как сказано выше, возьмем в качестве объекта моделирования систему наведения ракеты класса «воздух–воздух» на цель, буксирующую (отстреливающую) ловушку-ретранслятор

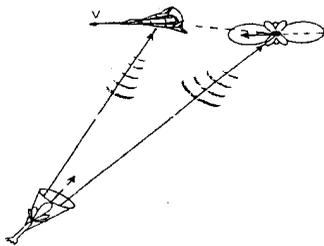


Рис. 1. Объект моделирования (рис. 1).

Перед тем как приступить к построению модели, необходимо иметь некоторую исходную информацию, например функциональную или структурную схему объекта моделирования и его частей; уравнения, описывающие моделируемую систему и ее части.

В самом общем виде такая система будет иметь структуру, показанную на рис. 2.

Для построения модели системы наведения, показанной на рис. 3, были построены модели составных частей системы. Полученные модели составных частей в виде subsystem объединялись вместе в соответствии со структурой исходного объекта. Движение самолета-цели и ракеты задавалось на основе известных уравнений [2, 3] с учетом того, что ракета является осесимметричным крестокрылым объектом. Параметры относительного движения объектов рассчитываются в subsystem кинематического звена Kinemat, где функция kinematFcn реализована программно.

Полная схема модели системы наведения показана на плакате.

Основную трудность для моделирования представляет РГС ракеты, с одной стороны, как наиболее сложное устройство, с другой, как именно то устройство, работа которого и исследуется. Структурная схема Simulink-модели РГС показана на рис. 3.

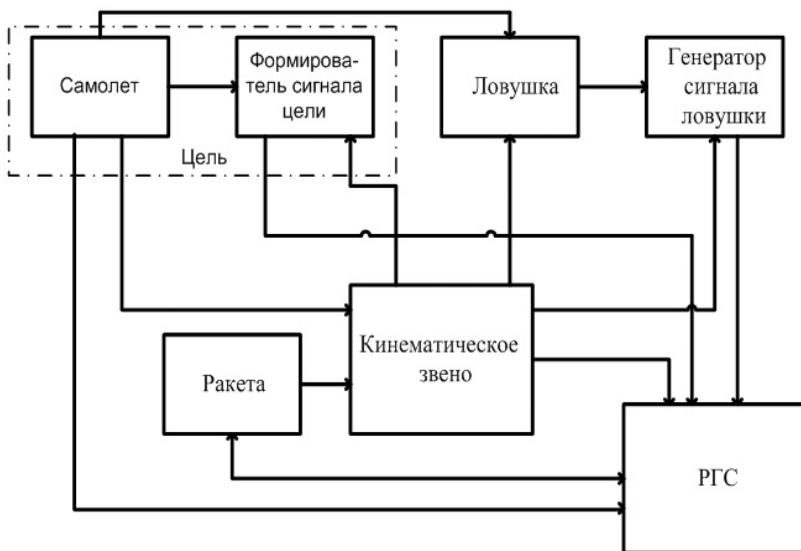


Рис. 2. Общий вид структуры системы наведения

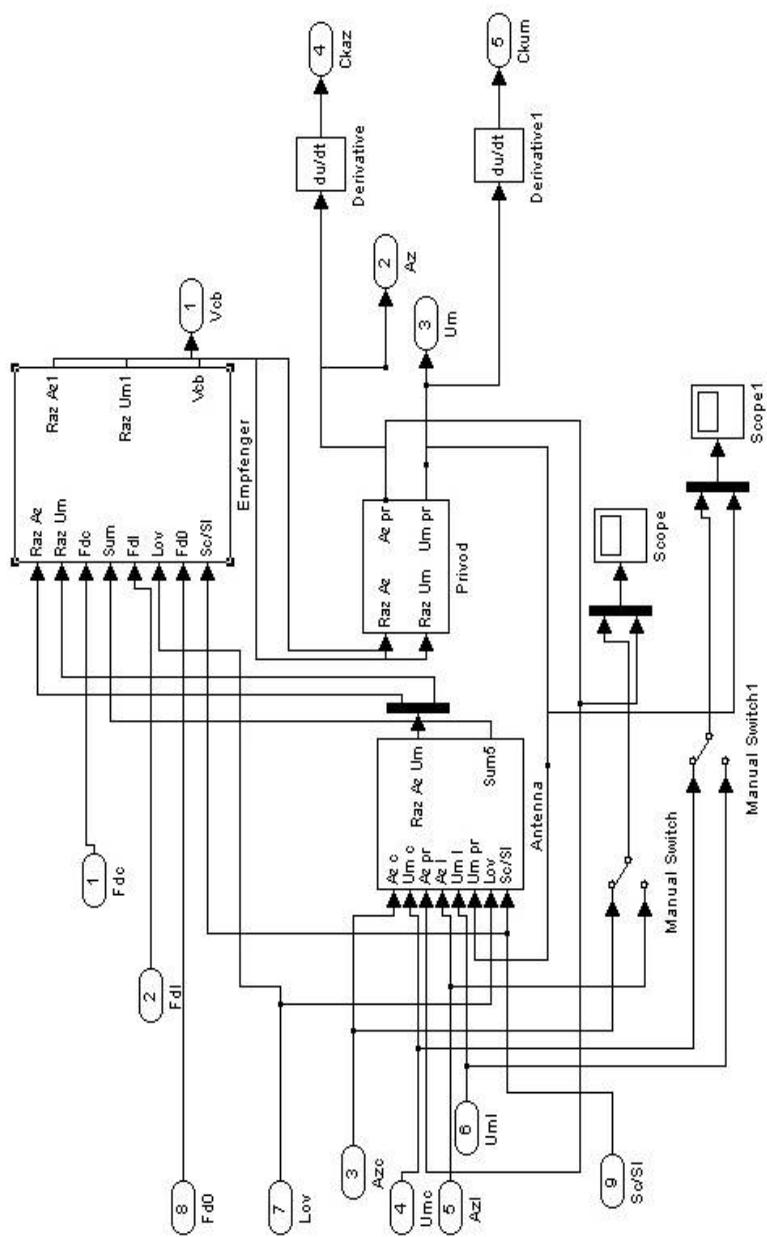


Рис. 3. Структура Simulink-модели РГС

Таким образом, видно, что модель была реализована в виде вложенных друг в друга субсистем, это позволило получить достаточно простую в использовании (рис. 1) и в то же время достаточно сложную, отражающую многие детали реальности модель. Пример отображения изменения доплеровской частоты сигнала цели и ловушки инструментом SCOPE показан на рис. 4.

Модель работает во времени, близком к реальному. Все выходные данные (координаты перемещения цели, ловушки и ракеты) записываются в рабочем пространстве Matlab, а также преобразуются в файлы с расширением *.dat для дальнейшего использования. Кроме того, возможен просмотр траекторий движения объектов в виде трехмерного графика при команде Flight из командного окна Matlab (рис. 5).

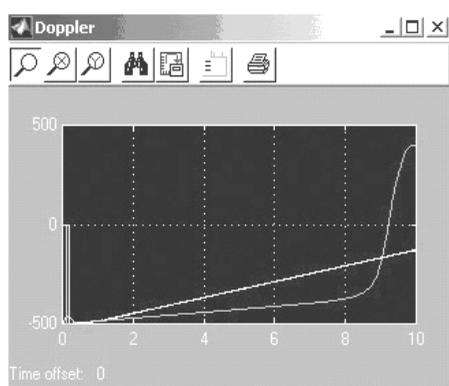


Рис. 4. Отображение доплеровской частоты сигнала цели и ловушки

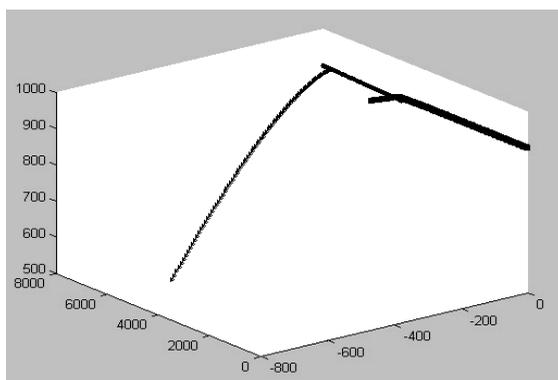


Рис. 5. Траектории (слева направо) ловушки, цели и ракеты при наведении в переднюю полусферу

Таким образом, предложен относительно простой комплекс программ для моделирования системы наведения, позволяющий оценить влияние применения ловушек-ретрансляторов на процесс наведения и промах. Использование средств визуализации позволяет даже начинающему исследователю избежать некоторых ошибок, связанных с моделированием при применении стандартных средств и методов.

Список литературы

1. Дэбни, Дж. Simulink 4. Секреты мастерства / Дж. Дэбни, Т. Харман. – М. : Бином, 2003.
2. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированной на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55. – 59.
3. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00312 А

Иванов А. В., Комраков Д. В.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

КОМПЛЕКС АЛГОРИТМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАВИГАТОРОВ ПОДВИЖНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Методами марковской теории оптимального оценивания получены алгоритмы обработки информации в навигационных комплексах подвижных наземных объектов. Разработана структурная схема. Оценены характеристики точности полученных алгоритмов.

Ключевые слова: подвижный наземный объект, навигационные комплексы, оптимизация, спутниковые радионавигационные системы, комплексирование.

Для решения задач навигации наземных подвижных объектов (НПО) используются навигационные комплексы (НК), которые предназначены для определения текущих координат и параметров движения объектов. Основой современных НК являются спутниковые

радионавигационные системы (СРНС). НК ПНО решают большой спектр задач: от простой навигации по маршруту, требующей определения координат со среднеквадратической ошибкой не более 100 м, до решения специальных задач, требующих определения координат со среднеквадратической ошибкой 5...15 м. Современные НК НПО, такие как «Трона-1», «Азимут», «АВТОНАВ» и др., обеспечивают среднеквадратическую ошибку определения координат порядка 10 м, однако при пропадании сигнала от СРНС НК не могут длительное время обеспечить требуемую точность определения координат. Так, в автономном режиме работы НК «АВТОНАВ» через 40 с после пропадания сигнала от СРНС позволяет определять координаты НПО с точностью 20...40 м, а через 5 мин – только 200 м. НК должны также обеспечивать контроль целостности навигационной информации, т.е. должны обеспечивать потребителей сигналами тревоги о недостоверности навигационных сигналов СРНС. Время, необходимое для выявления факта нарушения целостности, не должно превышать 15...30 с. Современные навигационные комплексы НПО не оснащены системами контроля целостности навигационных данных, поступающих от СРНС.

Для разработки алгоритмического обеспечения НК с контролем целостности навигационных данных СРНС использовались методы марковской теории оптимального оценивания. Обработка сигналов проводилась в двух независимых каналах: горизонтальном и вертикальном. Были получены алгоритмы оценки координат и параметров движения [1]:

– для горизонтального канала

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{\Gamma}^*(t_{k+1}) = & \Phi_{xx\Gamma}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{X}_{\Gamma}^*(t_k) + \Psi_{\Gamma}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{W}_{\Gamma}(t_k) + \mathbf{K}_{\Gamma}(t_{k+1}) \times \\ & \times \left[\Xi_{\Gamma}(t_{k+1}) - \mathbf{H}_{\Gamma}(t_{k+1}) \Phi_{xx\Gamma}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{X}_{\Gamma}^*(t_k) - \mathbf{H}_{\Gamma}(t_{k+1}) \Psi_{\Gamma}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{W}_{\Gamma}(t_k) \right], \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathbf{K}_{\Gamma}(t_{k+1})$ – матрица оптимальных коэффициентов передачи:

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_{\Gamma}(t_{k+1}) = & \mathbf{P}_{\Gamma}(t_{k+1} | t_k) \mathbf{H}_{\Gamma}^T(t_{k+1}) \times \\ & \times \left[\mathbf{H}_{\Gamma}(t_{k+1}) \mathbf{P}_{\Gamma}(t_{k+1} | t_k) \mathbf{H}_{\Gamma}^T(t_{k+1}) + \Gamma_{\Xi\Gamma}(t_{k+1}) \Gamma_{\Xi\Gamma}^T(t_{k+1}) \right]^{-1}; \\ \mathbf{P}_{\Gamma}(t_{k+1}, t_k) = & \Phi_{xx\Gamma}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{P}_{\Gamma}(t_k) \Phi_{xx\Gamma}^T(t_{k+1}, t_k) + \Gamma_{x\Gamma}(t_{k+1}, t_k) \Gamma_{x\Gamma}^T(t_{k+1}, t_k); \\ \mathbf{P}_{\Gamma}(t_{k+1}) = & [\mathbf{I} - \mathbf{K}_{\Gamma}(t_{k+1}) \mathbf{H}_{\Gamma}(t_{k+1})] \mathbf{P}_{\Gamma}(t_{k+1}, t_k), \end{aligned} \quad (2)$$

в которых $\mathbf{P}_{\Gamma}(t_{k+1} | t_k)$ – матрица вторых центральных моментов прогнозирования; $\mathbf{P}_{\Gamma}(t_{k+1})$ – матрица вторых центральных моментов ошибок оценивания; \mathbf{I} – единичная матрица;

– для вертикального канала

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_B^*(t_{k+1}) = & \Phi_{xxB}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{X}_B^*(t_k) + \Psi_B(t_{k+1}, t_k) \mathbf{W}_B(t_k) + \mathbf{K}_1(t_{k+1}) \times \\ & \times [\xi_1(t_{k+1}) - \varphi_{uu}(t_{k+1}, t_k) \xi_1(t_k) - \mathbf{H}_1(t_{k+1}) \Psi_B(t_{k+1}, t_k) \mathbf{W}_B(t_k) + \\ & + \varphi_{uu}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{H}_1(t_k) \mathbf{X}_B^*(t_k) - \mathbf{H}_1(t_{k+1}) \Phi_{xxB}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{X}_B^*(t_k)] + \\ & + \mathbf{K}_2(t_{k+1}) [\xi_2(t_{k+1}) - \mathbf{H}_2(t_{k+1}) \Psi_B(t_{k+1}, t_k) \mathbf{W}_B(t_k) - V_2 - \\ & - \mathbf{H}_2(t_{k+1}) \Phi_{xxB}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{X}_B^*(t_k)], \end{aligned} \quad (3)$$

где $\mathbf{K}_1(t_{k+1})$ и $\mathbf{K}_2(t_{k+1})$ – вектор-столбцы матрицы оптимальных коэффициентов передачи $\mathbf{K}(t_{k+1}) = [\mathbf{K}_1(t_{k+1}); \mathbf{K}_2(t_{k+1})]$, определяемой соотношениями

$$\begin{aligned} \mathbf{K}(t_{k+1}) = & [\Phi_{xxB}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{P}_B(t_k) \Phi_{yx}^T(t_{k+1}, t_k) + \mathbf{V}_{xy}] \times \\ & \times [\mathbf{B}_{yy}^{-1} + \Phi_{yx}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{P}_B(t_k) \Phi_{yx}^T(t_{k+1}, t_k)]^{-1}, \\ \mathbf{P}_B(t_{k+1}) = & \Phi_{xxB}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{P}_B(t_k) \Phi_{xxB}^T(t_{k+1}, t_k) - \mathbf{K}(t_{k+1}) \times \\ & \times [\mathbf{B}_{xy} + \Phi_{xx}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{P}_B(t_k) \Phi_{yx}^T(t_{k+1}, t_k)]^T, \end{aligned} \quad (4)$$

в которых $\mathbf{P}_B(t_{k+1})$ – матрица вторых центральных моментов ошибок оценивания; $\Phi_{yx}(t_{k+1}, t_k)$, \mathbf{V}_{xy} , \mathbf{V}_{yy} – блочные матрицы вида

$$\begin{aligned} \Phi_{yx}(t_{k+1}, t_k) = & \left[\frac{\mathbf{H}_1(t_{k+1}) \Phi_{xxB}(t_{k+1}, t_k) - \varphi_{uu}(t_{k+1}, t_k) \mathbf{H}_1(t_k)}{\mathbf{H}_2(t_{k+1}) \Phi_{xxB}(t_{k+1}, t_k)} \right]; \\ \mathbf{V}_{xy} = & [\Gamma_{xB}(t_{k+1}, t_k) \Gamma_{xB}^T(t_{k+1}, t_k) \mathbf{H}_1^T(t_{k+1}) | \Gamma_{xB}(t_{k+1}, t_k) \Gamma_{xB}^T(t_{k+1}, t_k) \mathbf{H}_2^T(t_{k+1})]; \\ \mathbf{V}_{yy} = & \left[\frac{\mathbf{H}_1(t_{k+1}) \Gamma_{xB}(t_{k+1}, t_k) \Gamma_{xB}^T(t_{k+1}, t_k) \mathbf{H}_1^T(t_{k+1}) - \varphi_{uu}^2(t_{k+1}, t_k)}{\mathbf{H}_2(t_{k+1}) \Gamma_{xB}(t_{k+1}, t_k) \Gamma_{xB}^T(t_{k+1}, t_k) \mathbf{H}_1^T(t_{k+1})} \right. \\ & \left. \frac{\mathbf{H}_1(t_{k+1}) \Gamma_{xB}(t_{k+1}, t_k) \Gamma_{xB}^T(t_{k+1}, t_k) \mathbf{H}_2^T(t_{k+1})}{\mathbf{H}_2(t_{k+1}) \Gamma_{xB}(t_{k+1}, t_k) \Gamma_{xB}^T(t_{k+1}, t_k) \mathbf{H}_2^T(t_{k+1}) + \Gamma_2^2(t_k)} \right]. \end{aligned}$$

Комплексные оптимальные алгоритмы (1) – (4) позволяют произвести оценивание координат местоположения и параметров движения ПНО.

В полученных алгоритмах помимо координат и параметров движения ПНО дополнительно оценивалась постоянная составляющая ошибки относительной высоты ΔH^* , измеряемой БВ, что позволило осуществить контроль целостности навигационных данных СРНС [1, 2].

В составе схемы: СРНС; НСС – наземные сетевые системы; ДС – датчик скорости; ИНС – инерциальная навигационная система; БВ – барометрический высотомер; ГП – канал обработки в горизонтальной плоскости; ВП – канал обработки в вертикальной плоскости; АСКЦ – автономная система контроля целостности.

Зависимости среднеквадратических ошибок оценивания координат $X_g, Z_g, H_{отн}$ местоположения НПО от ошибок измерения координат объекта СРНС $\sigma^{СРНС}$ представлены на рис. 2.

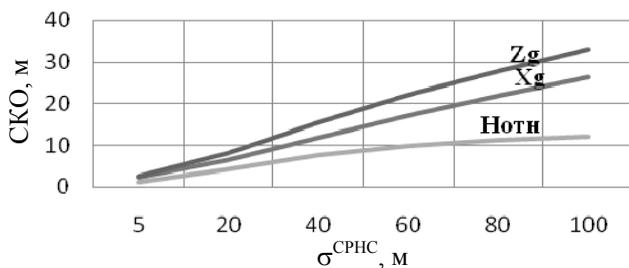


Рис. 2

С увеличением среднеквадратических ошибок измерения координат местоположения ПНО СРНС точность определения координат падает. Так, при среднеквадратических ошибках измерения координат местоположения ПНО СРНС $\sigma^{СРНС} = \sigma_x^{СРНС} = \sigma_z^{СРНС} = \sigma_y^{СРНС} = 100 \text{ м}$ ошибки оценивания координат НПО составляют $\sigma_{X_g} \approx 26,5 \text{ м}$, $\sigma_{Z_g} \approx 33,2 \text{ м}$, $\sigma_{H_{отн}} \approx 12 \text{ м}$.

Список литературы

1. Иванов, А. В. Оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных комплексах наземных подвижных объектов с автономным контролем целостности навигационных данных спутниковых радионавигационных систем / А. В. Иванов, Д. В. Комраков // Радиотехника и электроника. – 2017. – № 4(62).
2. Иванов, А. В. Автономные системы контроля целостности навигационных данных спутниковых радионавигационных систем / А. В. Иванов // Радиотехника». – 2014. – № 7.

Куликов Р. А., Фролов С. В., Куликов А. Ю., Дубровин В. В.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТОКОЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. Предложена система поддержки принятия врачебных решений, позволяющая формировать протокол ультразвукового исследования с использованием базы данных готовых фраз и предложений.

Ключевые слова: система поддержки принятия решения врача, ультразвуковое исследование, протокол ультразвукового исследования, диагностические ситуации.

В настоящее время появляется все больше кабинетов УЗИ-диагностики в частных и государственных медицинских учреждениях. Увеличивается количество пациентов и нагрузка на кабинеты УЗИ-диагностики. Больше половины времени при приеме пациентов врач ультразвуковой диагностики тратит на составление протокола исследования. Текстовые медицинские документы составляют основу работы врача [1], поэтому автоматизация подготовки документации, включая формирование протокола ультразвуковых исследований, является актуальной задачей.

В большинстве случаев врачи ультразвуковой диагностики используют свои шаблоны, не придерживаясь общих стандартов, и для каждого органа имеется свой шаблон. Привести шаблоны различных органов к одному виду практически невозможно из-за различной структуры и способов заполнения. Эту задачу можно решить с помощью структурирования протоколов для каждого органа на основе использования специального ПО. Такое ПО для автоматизированного заполнения протокола исследования относится к системам поддержки принятия врачебных решений (СППВР) [2].

В известных системах ввод недостающих фраз осуществляется в протоколах вручную, либо готовые фразы выбираются из списка предложенных. Фразы идут последовательно и имеют ветвления при различных параметрах описания органа. В этом случае, как и при дописывании необходимых фраз, затрачивается столько же времени, что при заполнении бумажного варианта. В таких системах в большинстве случаев протоколом исследований является заранее заготовленный шаблон в формате PDF, в котором стандартными способами в шаблонном тексте протокола выбираются нужные ключевые фразы. В случае больших отклонений от нормы или расширенного описания

образований этот способ не позволяет кардинально изменить текст и структуру протокола во время его редактирования.

Целью исследования является повышение эффективности работы врачей кабинетов ультразвуковой диагностики за счет разработки СППВР, позволяющей создавать понятные, корректные и правильные протоколы ультразвуковых исследований и дающей врачу подсказку для принятия заключения.

Для повышения эффективности формирования протокола исследования предлагается использовать готовые шаблоны (части) с включенными ключевыми фразами и предложениями, расположенными в нужном порядке. Для каждого протокола исследования формируется множество признаков для органа, база ключевых фраз, содержащая в себе все возможные фразы для описания конкретных характеристик этого органа, а также база логической структуры, позволяющая строить связанные предложения, удобные для восприятия врачом и пациентом. Отдельным блоком формируется множество заключений, индивидуальное для каждого органа. Каждому заключению соответствует множество признаков, позволяющее автоматически рекомендовать заключение.

Выбор заключения на основе множества признаков, полученных при ультразвуковом исследовании органа пациента, относится к классической задаче распознавания образов и проводится с использованием решающего правила. Решающее правило позволяет на основе выбранных признаков объекта исследования принять решение о принадлежности объекта к определенному классу (образу). В рассматриваемой задаче на основании полученного врачом в результате ультразвукового исследования набора признаков органа система автоматически рекомендует заключение.

На рисунке 1 приведена структура СППВР для формирования протоколов ультразвукового исследования.

Врач на ультразвуковом сканере проводит k -е исследование пациента и получает набор ультразвуковых изображений, выполненных для конкретного органа и представляющих собой набор изображений \mathbf{IP}_k . Количество изображений определяется возможностью выделения из них всех признаков, необходимых для заключения.

Взаимодействие врача с системой проводится на основе интерфейса пользователя СППВР. В блоке «Выбор признаков» на основе полученного набора изображений \mathbf{IP}_k и использования структурированной информации о множестве признаков \mathbf{TP} , находящейся в базе данных для исследуемого органа, врачом осуществляется выбор представленных в текстовой форме признаков \mathbf{HR}_k , которые описывают исследуемый орган. Затем в блоке «Редактирование протокола исследу-

дования» элементы множества признаков HR_k , переносятся в шаблон исследования, и формируется набор последовательных предложений, представляющих описательную часть протокола ультразвукового исследования, которая может быть скорректирована врачом.

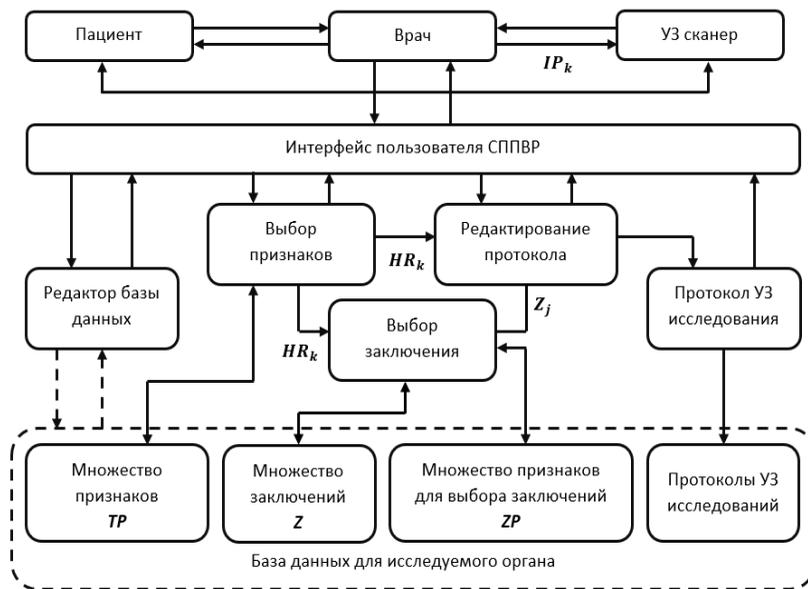


Рис. 1. Структура СППВР для формирования протоколов ультразвукового исследования

В блоке «Выбор заключения» на основе решающего правила с использованием полученного множества признаков HR_k , имеющихся в базе данных для исследуемого органа множества возможных заключений Z , множества признаков (эталонов) для выбора заключения ZP , решается задача классификации. В блоке «Выбор заключения» принимается решение, какому элементу из множества возможных заключений Z соответствуют результаты, полученные при k -м ультразвуковом исследовании органа. В блоке «Редактирование протокола исследования» автоматически выбранная системой формулировка заключения ультразвукового исследования может быть скорректирована врачом.

Врач может редактировать информацию, которая используется для составления протоколов ультразвуковых исследований, в блоке «Редактор базы данных». Все протоколы исследований, которые провел врач, сохраняются в базе данных.

Список литературы

1. Бельшев, Д. В. Пути повышения эффективности работы с электронными медицинскими документами / Д. В. Бельшев // Врач и информационные технологии. – 2017. – № 4 – С. 63 – 73.
2. Гусев, А. В. Поддержка принятия врачебных решений в медицинских информационных системах медицинской организации / А. В. Гусев, Т. В. Зарубина // Врач и информационные технологии. – 2017. – № 2 – С. 60 – 72.
3. Гусев, А. В. Основные рекомендации к созданию и развитию информационных систем в здравоохранении на базе искусственного интеллекта / А. В. Гусев, М. А. Плисс // Врач и информационные технологии. – 2018. – № 3 – С. 45 – 60.

Коробов А. А., Фролов С. В., Алиев Н. Э.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОНТУРОВ РЕГУЛЯЦИИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Аннотация. Предлагается обзор наиболее значимых моделей кровообращения, учитывающих процессы регуляции, описаны их особенности и недостатки. Описана предложенная авторами нульмерная динамическая математическая модель сердечно-сосудистой системы с двумя контурами регуляции.

Ключевые слова: математическая модель, сердечно-сосудистая система, регуляция кровообращения.

Современным трендом медицинской диагностики является применение математических методов для анализа состояния пациента и поддержки принятия врачебных решений. Согласно последним исследованиям, управление регуляцией сердца и сосудов в реальном времени позволит проводить терапию заболеваний сердечно-сосудистой системы без внешнего инвазивного воздействия с учетом индивидуальных особенностей больного [1].

Созданные на сегодняшний день модели в большинстве своем описывают гемодинамику сердечно-сосудистой системы, зачастую не затрагивая процессы регуляции. Однако процессы регуляции являются важнейшей частью моделирования кровообращения, поэтому такие модели представляют наибольший интерес для врача и исследователя [2]. Исходя из этого, актуальным на данный момент является создание

целостной модели, адекватно описывающей систему кровообращения пациента для нужд палат интенсивной терапии [3].

На кафедре «Биомедицинская техника» в Тамбовском государственном техническом университете разработана 6-камерная нульмерная динамическая математическая модель сердечно-сосудистой системы, учитывающая процессы регуляции (рис. 1), в основе которой лежит модель Лищука.

Построенная модель содержит два уровня регуляции – нижний и верхний (центральный).

На рисунке 1 введены следующие обозначения: PC – кровеносные сосуды легочного круга кровообращения, RH – правое сердце, LH – левое сердце, V – венозное русло, A – артериальное русло, MLC – микрососуды большого круга кровообращения, EF – эффекторные звенья (звенья, передающие возбуждающий сигнал к органам и тканям), LR – узел сравнения, H^i – законы местной регуляции, k^i – коэффициенты регулирования, d_{RH} , d_{LH} – коэффициенты сокращения желудочков, T – период сердечных сокращений, y^i – сигналы управления в подсистемах регуляции, y_c^i – сигналы управления центральной регуляции, U_B – расправляющий объем вен, AAT – оценка средней напряженности.

Основными регуляторными функциями, принятыми в модели, являются гомеостаз артериального давления, регуляция периферического кровотока, центрального венозного давления и насосных свойств сердца [4].

Модель реализована в программной среде MATLAB Simulink. Рассмотрим закономерности работы системы кровообращения, которые можно проследить, исследуя предлагаемую модель. На рисунке 2 показана динамика объемов правого желудочка и правого предсердия, из которой видна взаимосвязь изменений объемов крови, обусловленная тем, что кровь уходит из правого предсердия и поступает в правый желудочек.

На рисунке 3 показана динамика изменения объемов крови при прохождении крови из правого желудочка в легочные артерии. Прослеживается взаимосвязь между изменениями объемов.

В современном моделировании биологических объектов наблюдается тренд детализации, усложнения и углубленного изучения отдельных аспектов исследования [5]. Многие модели разрабатываются с научными и исследовательскими целями. Перспективным направлением в диагностике будет создание математических моделей, обеспечивающих возможность проводить оценку состояния и патологических процессов сердечно-сосудистой системы. Благодаря этому появится возможность без ущерба пациенту спрогнозировать состояние системы кровообращения в результате лечебных воздействий и манипуляций.

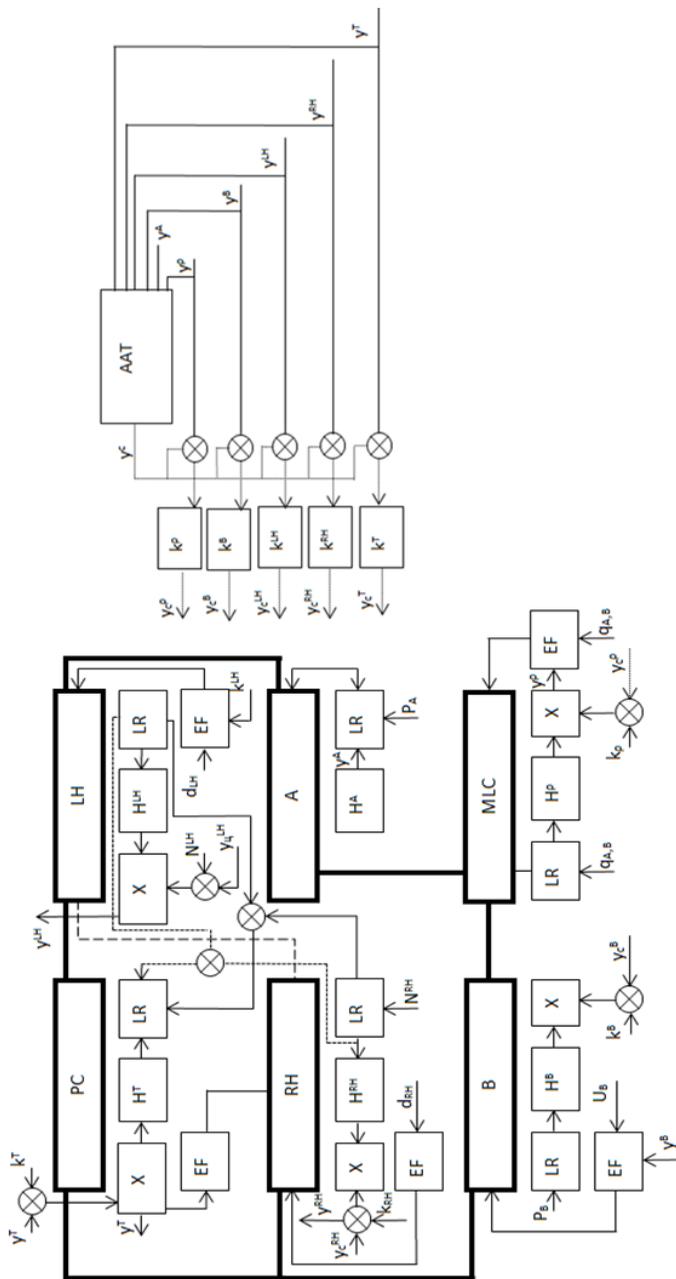


Рис. 1. Модель кровообращения с регуляцией

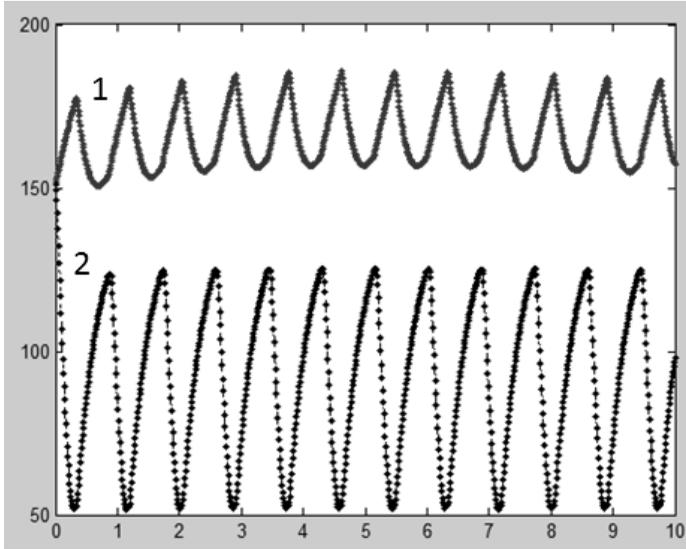


Рис. 2. Изменение объемов крови:

1 – в правом предсердии по времени; 2 – в правом желудочке по времени

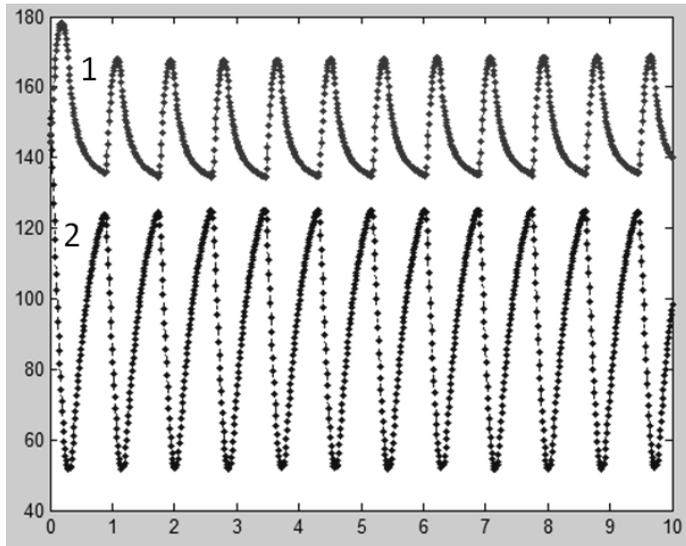


Рис. 3. Изменение объемов крови:

1 – в правом желудочке по времени; 2 – в легочной артерии по времени

Список литературы

1. Четырехкамерная модель сердечно-сосудистой системы человека / С. В. Фролов, С. В. Синдеев, В. А. Лищук и др. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 51 – 60.
2. Лищук, В. А. Математическая теория кровообращения / В. А. Лищук. – М. : Медицина, 1991. – 256 с.
3. lumped parameter model of cardiovascular system with pulsating heart for diagnostic studies / S. V. Frolov, S. V. Sindeev, V. A. Lischouk et al. // Journal of Mechanics in Medicine and Biology. – 2017. – V. 17(5), 1750056 (21 pages). – DOI: 10.1142/S0219519417500567. EID: 2-s2.0-85007240724, WOS: 000401539400016 (Web of Science, Scopus). (Impact Factor 0.77).
4. Development of multiscale hemodynamics model for research of basilar artery circulation / S. V. Frolov, S. V. Sindeev, V. A. Lischouk et al. // Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University. – 2013. – № 4(48). – P. 46 – 53.
5. Modeling studies of basilar artery blood flow given the global hemodynamics factors / S. V. Frolov, S. V. Sindeev, V. A. Lischouk et al. // Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University. – 2014. – № 4(54). – P. 86 – 93.

Секция 1

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Анников М. В., Кирин А. Ю., Губарев В. Я.
Липецкий государственный технический университет
(г. Липецк, Россия)

ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ПЕЧИ ОТЖИГА И ПЕЧИ СУШКИ АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО ОТЖИГА

Аннотация. Произведен анализ тепловых потерь работы агрегата непрерывного отжига. Выполнена оценка эффективности работы агрегата в зависимости от затрат электроэнергии.

Ключевые слова: агрегат непрерывного отжига, стальная полоса, нагрев, тепловые потери.

Введение. В настоящее время листовая электротехническая сталь, получаемая на агрегатах непрерывного отжига (АНО), пользуется повышенным спросом. Существует большое количество АНО и методов, которые производят разнообразные технологические операции для придания особенных характеристик стали.

В данной работе рассматривается АНО, состоящий из 17 зон печи отжига и 9 зон печи сушки (рис. 1). Регулирование температуры в каждой зоне осуществляется отдельно. Конечная температура металла в зависимости от сортамента варьируется от 720 до 840 °С. Нагрев в зонах осуществляется с помощью электронагревателей, которые расположены на боковых стенах камеры поперек движения полосы, что обеспечивает равномерный нагрев по ширине проката.

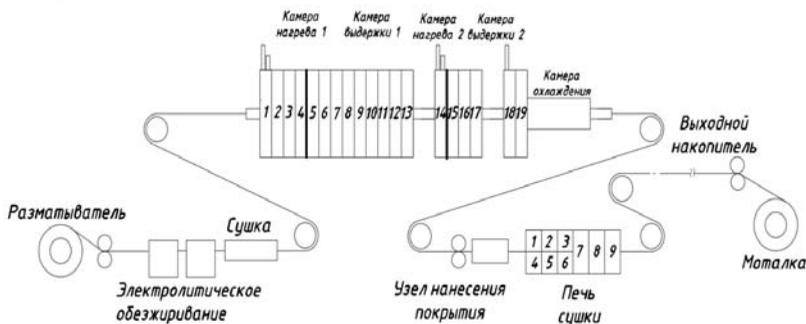


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема АНО

На данный момент анализируемый агрегат имеет низкие показатели коэффициента полезного действия (КПД) и высокие значения удельных затрат электроэнергии на производство металла.

Таким образом, для снижения удельных затрат электроэнергии АНО требуется определить его тепловой баланс и проанализировать тепловые потери.

Для секции нагрева и для секции выдержки составим уравнение теплового баланса:

$$Q_3 = Q_M + Q_{\text{фут}} + Q_{\text{зг}} + Q_{\text{неуч}}, \quad (1)$$

где Q_3 – теплота, выделяемая электронагревателями; Q_M – теплота, затрачиваемая на нагрев металла; $Q_{\text{фут}}$ – тепловые потери через футеровку; $Q_{\text{зг}}$ – теплота, затрачиваемая на нагрев защитного газа; $Q_{\text{неуч}}$ – неучтенные потери теплоты.

1. Теплота, выделяемая электронагревателями, кВт:

$$Q_3 = 2045 \text{ кВт}. \quad (2)$$

2. Полезное тепло, необходимое для нагрева металла, кВт:

$$Q_M = G_M C_{\text{ср.м}} (t_{\text{км}} - t_M), \quad (3)$$

где $C_{\text{ср.м}}$ – средняя удельная теплоемкость металла в интервале температур от t_M до $t_{\text{км}}$, кДж/(м³·°С); $t_{\text{км}}$ – необходимая температура металла в секциях нагрева, °С.

3. Для нахождения тепловых потерь через футеровку, кВт, сначала составим критериальное уравнение и найдем коэффициенты теплоотдачи.

Эквивалентный диаметр, м:

$$d = \frac{2al}{(a+l)}, \quad (4)$$

где a – высота агрегата, м; l – длина агрегата, м.

Коэффициент объемного расширения, К⁻¹:

$$\beta = \frac{1}{t_{\text{окр}} + 273}, \quad (5)$$

где $t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, °С.

Критерий Грасгофа

$$\text{Gr} = \frac{g\beta d^3}{\nu^2} \Delta t, \quad (6)$$

где ν – кинематическая вязкость воздуха при Δt , м²/с; Δt – средняя температура между наружной стенкой печи и окружающей средой, °С.

Вычислим критерий Нуссельта через критериальное уравнение:

$$\text{Nu} = 0,135(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,33}. \quad (7)$$

Найдем коэффициент теплоотдачи на вертикальной стенке $\alpha_{\text{вр}}$, Вт/(м²·°C):

$$\alpha_{\text{вр}} = \frac{\text{Nu}\lambda_{\text{в}}}{d}, \quad (8)$$

где $\lambda_{\text{в}}$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м²·°C).

Найдем коэффициент теплоотдачи на горизонтальной стенке $\alpha_{\text{гр}}$, Вт/(м²·°C):

$$\alpha_{\text{гр}} = 1,3\alpha_{\text{вр}}. \quad (9)$$

Определим потери тепла через футеровку, кВт:

$$Q_{\text{фут}} = \alpha_{\text{гр}} F (t_{\text{ст}} - t_{\text{окр}}), \quad (10)$$

где F – поверхностная площадь секции нагрева, м²; $t_{\text{ст}}$ – температура стенки печи, °C.

4. Потери на нагрев защитного газа, кВт:

$$Q_{\text{зг}} = G_{\text{г}} G_{\text{ср,г}} (t_{\text{к,г}} - t_{\text{г}}), \quad (11)$$

где $G_{\text{ср,г}}$ – средняя удельная теплоемкость защитного газа в интервале от температур $t_{\text{к,г}}$ до $t_{\text{г}}$, кДж/(м³·°C); $t_{\text{к,г}}$ – температура защитного газа в секциях нагрева, °C; $t_{\text{г}}$ – температура защитного газа на входе, °C.

5. Неучтенные потери, кВт:

$$Q_{\text{неуч}} = Q_{\text{з}} - Q_{\text{м}} - Q_{\text{фут}} - Q_{\text{зг}}. \quad (12)$$

6. Коэффициент полезного действия в секциях нагрева и выдержки, %:

$$\eta = \frac{Q_{\text{м}}}{Q_{\text{з}}} 100\%. \quad (13)$$

Для печи сушки производим аналогичный расчет, за исключением применения в ней воздуха и теплоты, затрачиваемой на нагрев и испарение лака.

Вывод:

1. При расчете коэффициент полезного действия на печи нагрева и выдержки составил 58,9%, а для печи сушки – 36,7%.

2. Тепловой баланс печи отжига. Статьи прихода для секций нагрева и выдержки: теплота от электронагревателей – 2045,4 кВт (100%). Статьи расхода для секций нагрева и выдержки: теплота,

затрачиваемая на нагрев металла – 1173,3 кВт (57,5%); теплота, затрачиваемая на нагрев защитного газа, – 125,2 кВт (6,1%); тепловые потери через футеровку – 708,9 кВт (34,6%); неучтенные тепловые потери – 37,9 кВт (1,8%) .

3. Тепловой баланс печи сушки. Статьи прихода для сушки: теплота от электронагревателей – 758,3 кВт (100%). Статьи расхода для сушки: теплота, затрачиваемая на нагрев металла, – 278,4 кВт (36,7%); тепловые потери через футеровку – 150,8 кВт (19,4%); теплота, затрачиваемая на нагрев воздуха, – 208,9 кВт (27,5%); теплота, затрачиваемая на нагрев и испарение лака, – 21,2 кВт (2,8%); неучтенные тепловые потери – 98,2 кВт (13,6%).

Список литературы

1. Божков, А. И. Улучшение плоскостности полос электротехнических изотропных сталей. Сообщение 1. Исследование температурных полей при непрерывном отжиге / А. И. Божков, В. Я. Губарев, С. С. Дегтев // Производство проката. – 2013. – № 6. – С. 11 – 19.

2. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – 2-е изд. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.

3. Рябчиков, М. Ю. Экспериментальное определение теплотехнических характеристик протяжной печи / М. Ю. Рябчиков, А. П. Берестов // Наука, техника и образование. – 2016. – № 11(29). – С. 45 – 49.

Балашов А. А., Якунина И. В., Истомина Т. А., Абрашкин П. А.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

МЕТОД ВЫБОРА СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Аннотация. При выборе системы водяного отопления можно руководствоваться следующими факторами: экономическими, комфорта, места установки, а также автономности. Однако основной целью является поиск такого варианта системы водяного отопления, который удовлетворяет всем вышеперечисленным факторам.

Ключевые слова: метод выбора, система отопления, факторы.

Предлагаемый метод выбора энергосберегающих систем водяного отопления для жилых помещений и зданий основывается на: установлении факторов, оказывающих непосредственное влияние на выбор

систем отопления; приоритетности действия факторов и их взаимодействия между собой; выборе конструкции систем водяного отопления. Под фактором в данной статье понимается совокупность параметров, которые оптимально характеризуют данные условия.

Благодаря оптимальному подбору, экономичность высокоэффективной системы водяного отопления за годы эксплуатации окупит стоимость материалов и монтажных работ и начнет приносить выгоду [1 – 3]. Экономичность используемых систем водяного отопления обусловлена значениями температурных графиков отопительных приборов, а также инерционностью. Чем менее система инерционна и более эффективны отопительные приборы, тем система отопления будет экономичнее. Однако экономический фактор существенно ограничивают три других фактора – фактор места установки, фактор комфорта и фактор автономности.

Фактор места установки отопительных систем определяет доступность к различным коммунальным системам, что имеет важное значение. Рассматривая данный фактор, можно выделить четыре основных варианта места установки с их примерной характеристикой.

1. Город (коммунальные службы работают оперативно, постоянная подача электричества, воды и газа).

2. Пригород (коммунальные службы работают с задержками, подача газа, электричества – с небольшими перебоями, централизованное водоснабжение не повсеместно).

3. Поселок городского типа (коммунальные службы работают плохо, постоянные перебои электричества, газа и воды).

4. Деревня (коммунальные службы отсутствуют, электричество с перебоями, централизованное снабжение газа и воды отсутствует).

Итак, при определенных условиях, в зависимости от места установки, система отопления может стать не средством комфорта, а причиной возникновения опасности. Поэтому важное значение приобретают факторы комфорта и автономности.

Под фактором комфорта подразумевается удобство эксплуатации системы отопления вместе с отопительным прибором, а также способность системы удерживать нужное время комфортную температуру. На фактор комфорта оказывает влияние тип отопительного прибора, сама система отопления и соответствие ее установленному отопительному прибору.

Под фактором автономности системы отопления подразумевается не автономность системы от участия в процессе ее работы человека, а автономность от участия в ее работе подсистем и различных видов коммуникаций. Автономность системы очень важна, чем большее уда-

ление от городских центров, экстренных и аварийных служб имеет место установки системы отопления, тем выше должна быть ее автономность. Значит, меньшая зависимость от наличия газа, электроэнергии и водоснабжения [1 – 3].

Таким образом, учитывая рассмотренные факторы, предложена схема выбора системы водяного отопления, с учетом удовлетворения всех факторов, которая представлена на рис. 1.

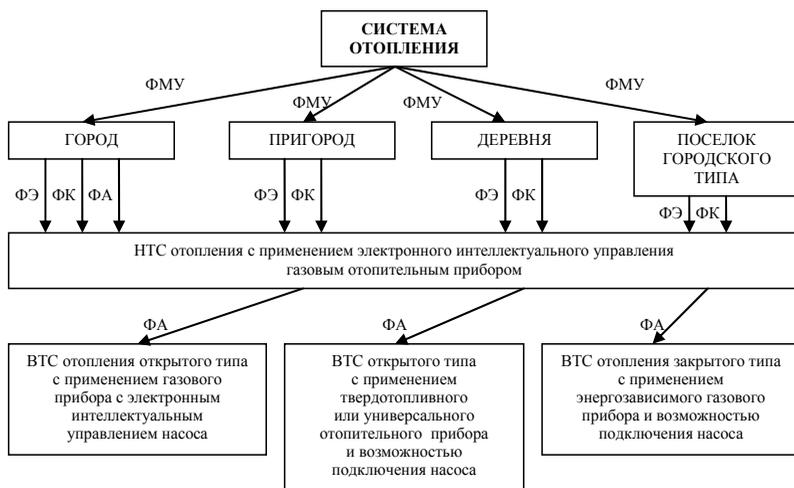


Рис. 1. Схема выбора системы водяного отопления с учетом внешних факторов:

ФЭ – экономический фактор; ФК – фактор комфорта;

ФА – фактор автономности; ФМУ – фактор места установки;

НТС – низкотемпературная система; ВТС – высокотемпературная система

На данной схеме (рис. 1) показаны варианты систем водяного отопления, в зависимости от перечисленных факторов. Главным и основополагающим фактором является фактор места установки, так как это имеет определяющее значение. Предложена разбивка мест установки системы отопления по степени урбанизации территорий. Разумеется, схема не является руководством к действию, однако она наглядно показывает логику выбора системы водяного отопления, а также отопительного прибора с различными вариациями.

В данной схеме (рис. 1) обозначены действия всех факторов. Так как ключевым фактором в выборе системы водяного отопления является ее место установки, то были выбраны возможные варианты мест с различными условиями эксплуатации системы. После действия

фактора места установки, когда известны условия, в которых придется устанавливать систему водяного отопления, действует фактор экономичности эксплуатации системы отопления, а соответственно, и фактор комфорта, которые будут взаимодействовать между собой в разных условиях по-разному. Это приведет к противоречию действия фактора комфорта, который в свою очередь будет зависеть от фактора автономности. В отдельных случаях фактор автономности системы отопления будет превращать фактор комфорта в фактор безопасности.

Действия фактора экономичности системы отопления будет диктовать самый экономичный вариант в эксплуатации, а действие фактора комфорта, который является наиболее приоритетным, в данном случае предъявляет требования, которые очень часто вступают в противоречие с фактором экономичности.

Таким образом, определяется не только методика выбора системы водяного отопления, но и расстановка факторов по приоритетности своего значения.

1. Фактор места установки.
2. Фактор комфорта, который включает в себя автономность и безопасность системы отопления.
3. Экономический фактор.

Каждый фактор будет влиять на конструкцию системы отопления и вносить свои требования. Выбор системы водяного отопления, должен быть обусловлен не себестоимостью материалов и монтажных работ, а взаимодействием факторов, влияющих на безопасность, энергосбережение и экологичность. При этом экономические затраты на постройку более дорогой системы отопления окупятся с течением времени при эксплуатации, за счет энергосбережения и уменьшения расходов на обслуживание, системы водяного отопления и отопительного прибора.

Список литературы

1. Штокман, Е. А. Теплогазоснабжение и вентиляция : учебное пособие для вузов / Е. А. Штокман, Ю. Н. Карагодин. – М. : АСВ, 2013. – 176 с.
2. Саяпина, Е. П. Проблемы качества в области ЖКХ / Е. П. Саяпина // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2011. – № 3(34). – С. 283 – 285.
3. Тетушкин, В. А. Система управления интеллектуальным зданием как инновационный элемент сервиса недвижимости / В. А. Тетушкин, Б. И. Герасимов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2016. – № 3(61). – С. 153 – 170.

Баршутин С. Н., Илясов А. П., Мешкова Э. А.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ИОНИЗАЦИИ НЕЙТРАЛЬНОЙ ЧАСТИЦЫ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ С ЭЛЕКТРОНОМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Аннотация. Рассмотрен механизм ионизации нейтральных молекул электронами в условиях действия электрического поля.

Ключевые слова: ионизация молекул, электрическое поле.

Как известно вероятность ионизации нейтральной частицы играет ключевую роль в математической модели ионизационных процессов, вследствие этого нахождение зависимости вероятности от различных факторов, при котором частица все же будет ионизирована, является актуальной задачей. Таким образом, предлагается новый подход для определения зависимости вероятности ионизации молекул газа от основных характеристик электрического поля.

Рассмотрим сам процесс ионизации, представленный на рис. 1.

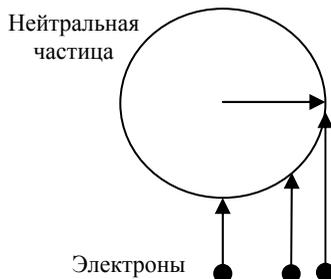


Рис. 1. Попадания электронов на нейтральную частицу под разными углами

Как можно увидеть, существует множество вариантов столкновения. Чем дальше попадает электрон от центра нейтральной частицы, тем меньше вероятность ее ионизации. Для того чтобы определить, будет ли частица ионизирована, необходимо найти энергию, которую будет получать нейтральная частица от столкновения в каждой из выбранных точек.

Рассчитаем энергию, которую электрон передает в результате столкновения с нейтральной частицей. Для этого выразим энергию через расстояние от центра взаимодействия электрона и молекулы:

$$E_3 = \frac{E_i}{\cos(\alpha)}. \quad (1)$$

Угол α определим через отношение радиуса молекулы к эффективному радиусу взаимодействия электрона:

$$\cos(\alpha) = \frac{\sqrt{R^2 - r^2}}{R}, \quad (2)$$

где R – радиус атома.

Получим формулу для нахождения E_3 :

$$E_3 = \frac{E_i R}{\sqrt{R^2 - r^2}}. \quad (3)$$

Эта формула позволит определить возможность ионизации нейтральной молекулы электроном при нахождении на расстоянии r от центра симметрии молекулы.

Далее определяем значение эффективного радиуса молекулы r , при котором она ионизируется энергией электрона E_3 :

$$r = \sqrt{R^2 - \frac{E_i^2 R^2}{E_3^2}}. \quad (4)$$

Тогда сечение взаимодействия будет определяться по формуле

$$\delta_e = \pi \left(R^2 - \frac{E_i^2 R^2}{E_3^2} \right). \quad (5)$$

Реальные газы описываются уравнением состояния идеального газа только приближенно, и отклонения от идеального поведения становятся заметными при высоких давлениях и низких температурах, особенно когда газ близок к конденсации. Отклонение газа от идеальности выражают в виде следующего соотношения.

Определим объем в одном моле газа по формуле

$$k = \frac{RT}{p}. \quad (6)$$

Определим среднее расстояние между атомами по формуле

$$a = \sqrt[3]{\frac{RT/p}{N_A}} = \sqrt[3]{\frac{RT}{pN_A}}, \quad (7)$$

тогда общая площадь взаимодействия проекции движения электрона в пространстве ближайших точек к рассматриваемому атому будет определяться по формуле

$$S_{\text{общ}} = a^2. \quad (8)$$

Для определения средней длины пробега электрона до столкновения примем, что это событие происходит при значении вероятности, равной 0,5. Тогда можно определить количество слоев атомов, при прохождении через которые электрон столкнется с вероятностью $P_{0,5} = 0,5$. Для этого воспользуемся формулой Бернулли

$$P_n(k) = C_n^k p^k q^{n-k}, \quad (9)$$

где $q = 1 - p$ – вероятность «неудачи»; C_n^k – число сочетаний n элементов по k .

Определение вероятности удачи атома P_a будет выполняться через отношение сечения взаимодействия к общей площади молекулы:

$$P_a = \frac{\delta_e}{S_{\text{общ}}}. \quad (10)$$

По получившемуся выражению можно будет определить вероятность ионизации нейтральной молекулы, либо обратный эффект, что молекула останется в своем прежнем состоянии, а электрон, отразившись от нее, продолжит свое движение дальше, до момента, пока не попадет в следующую молекулу.

Список литературы

1. Френсис, Г. Ионизационные явления в газах / Г. Френсис. – М. : Атомиздат, 1964. – 303 с.
2. Степанов, Е. М. Ионизация в пламени и электрическое поле / Е. М. Степанов, Б. Г. Дьячков. – М. : Metallurgia, 1968. – 311 с.
3. Завилопуло, А. Н. Ионизация молекул азота, кислорода, воды и двуокси углерода электронным ударом вблизи порога / А. Н. Завилопуло, Ф. Ф. Чипев, О. Б. Шпеник // Журнал технической физики. – 2005. – Т. 75, Вып. 4. – С. 19 – 24.

**СНИЖЕНИЕ РЕМОНТНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ПЕРИОДА
В СЕТЯХ ЧЕТЫРЕХТРУБНОГО ИСПОЛНЕНИЯ
В ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЕ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ г. ЛИПЕЦКА**

Аннотация. Рассмотрен вариант снижения ремонтно-профилактического периода в централизованной системе теплоснабжения для жилого микрорайона г. Липецка, оснащенного центральным тепловым пунктом и имеющего четырехтрубное исполнение трубопровода. Представлен комплекс работ, позволяющий снизить ремонтно-профилактический период и обеспечить потребителя горячей водой на протяжении всех ремонтных работ.

Ключевые слова: тепловая сеть, тепловой пункт, ремонтно-профилактические работы, планово-предупредительный ремонт, четырехтрубное исполнение.

Ремонт тепловых сетей представляет собой комплекс технических мероприятий, направленных на поддержание или восстановление первоначальных эксплуатационных качеств, а также на модернизацию как отдельных конструкций и элементов, так и тепловой сети в целом. Своевременно и качественно проведенный ремонт тепловых сетей повышает их долговечность. В период эксплуатации первоначальное или близкое к нему техническое состояние предупреждает неожиданный выход их из строя. Поэтому бесперебойная и экономичная работа систем теплоснабжения зависит не только от правильной технической эксплуатации, но и от своевременного проведения планово-предупредительного ремонта тепловых сетей, оборудования тепловых станций и абонентских вводов.

В связи с проведением ремонтно-профилактических работ в централизованной системе теплоснабжения у жителей Липецкой области в летний период в течение 28 суток отсутствует горячее водоснабжение.

Необходимо разработать комплекс мероприятий по обеспечению горячей водой в период ремонтно-профилактических работ. В связи с этим предлагается провести модернизацию системы горячего водоснабжения в пределах микрорайона.

Переход из двухтрубного сечения в четырехтрубное происходит в центральном тепловом пункте. В здании центрального теплового пункта установлена двухступенчатая система подогрева горячей воды. Имеется два теплообменных аппарата, установлен циркуляционный насос для осуществления перекачки теплоносителя по системе горячей водоснабжения. Основное назначение центрального теплового

пункта – это посредничество между централизованными тепловыми сетями и потребителями, т.е. распределение теплоносителя по системам отопления и горячего водоснабжения (ГВС) обслуживаемых зданий. Данный тепловой пункт осуществляет переход от двухтрубного сечения тепловой сети к четырехтрубной, разделяя тем самым подачу тепла на отопительные нужды и нужды горячего водоснабжения.

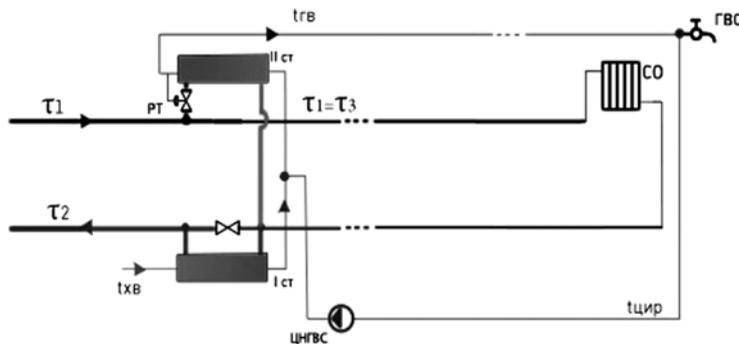


Рис. 1. Схема ЦТП-МКД

Предлагается решить проблему отсутствия горячего водоснабжения на период ремонтно-профилактических работ в централизованной системе теплоснабжения г. Липецка с помощью подачи горячей воды через систему отопления, оставив трубопровод горячего водоснабжения свободным для проведения ремонтных работ.

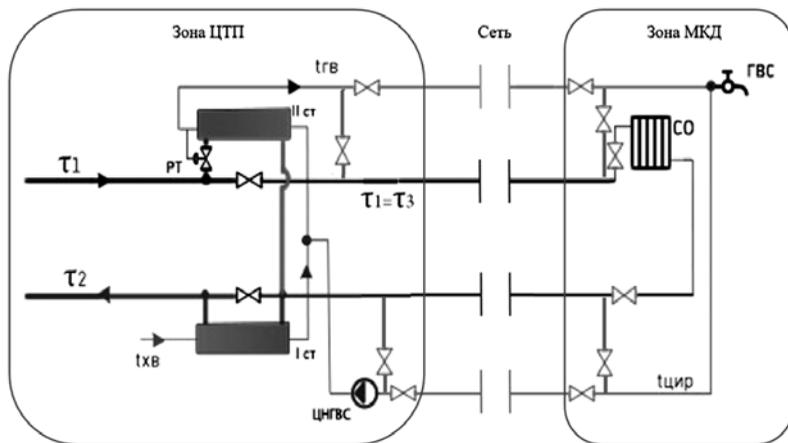


Рис. 2. Модернизированная схема ЦТП-МКД

Проведем расчет прибыли, получаемой теплоснабжающей организацией при подаче горячей воды в период ремонтно-профилактических работ.

В соответствии со СНиП 2.04.01–85* «Внутренний водопровод и канализация зданий. Система внутреннего холодного и горячего водоснабжения» нормой расхода горячей воды в средние сутки для жителей домов квартирного типа с ванной длиной от 1500 до 1700 мм, оборудованной душем, составляет $q_{u,m}^h = 105$ л/сут на одного человека.

$$q_{u,m\text{общ}}^h = nmq_{u,m}^h, \quad (1)$$

$$q_{u,m\text{общ}}^h = 8755 \cdot 28 \cdot 105 = 2573,97 \text{ м}^3,$$

где $n = 8755$ – количество человек, проживающих в микрорайоне; $m = 28$ – сумма дней, в течение которых проводятся ремонтно-профилактические работы в системе теплоснабжения г. Липецка для каждого микрорайона.

Предполагая стоимость нагрева 1 м^3 горячей воды, включающего в себя стоимость 1 м^3 холодной воды, найдем прибыль, полученную теплоснабжающей организацией в период осуществления теплоснабжения:

$$C_{\text{ГВ}}^{\text{ист}} = q_{u,m\text{общ}}^h \cdot C_{1 \text{ м}^3 \text{ ГВ}}, \quad (2)$$

$$C_{\text{ГВ}}^{\text{ист}} = 2573,97 \cdot 119,08 = 306\,508,34 \text{ р.}$$

Для модернизации центрального теплового пункта и тепловых пунктов многоквартирных жилых домов необходимо приобрести оборудование, состоящее из запорных арматур и труб необходимого диаметра.

Тепловые пункты многоквартирных жилых домов планируется оснастить перемычками за счет небольшого увеличения платы за коммунальные услуги. Повышение платежной квитанции на 97 р. позволит жителям усредненного дома по микрорайону в течение 3 месяцев полностью компенсировать затраты на модернизацию теплового пункта внутри здания.

Осуществлять установку дополнительных запорных арматур в тепловом пункте предлагается за счет эксплуатируемой его теплоснабжающей организации.

Срок окупаемости для теплоснабжающей организации будет рассчитан исходя из приведенных затрат, в которые входят капитальные составляющие 337 тыс. р. и эксплуатационные составляющие 34 тыс. р. при сроке службы в 30 лет и включая в себя амортизацию.

Прибылью будет считаться количество воды, поставленное тепло-снабжающей компанией абонентам, и составит 305 тыс. р.:

$$PP = \frac{\text{Пр.затр.}}{\text{Прибыль}} = \frac{337 + 30 \cdot 34}{305} = 4,5 \text{ года.}$$

В данной работе мы провели расчет модернизации центрального теплового пункта и тепловых пунктов многоквартирных жилых домов, оценив экономический эффект от реализации комплекса данных мероприятий.

Проанализировав полученные результаты, был получен срок окупаемости в 4,5 года, что является удовлетворительным для социально-технического проекта, который снизит социальную напряженность, связанную с отсутствием горячего водоснабжения на период ремонтно-профилактических работ в системе теплоснабжения г. Липецка.

Богомолова А. А., Гнеушева М. А.

Липецкий государственный технический университет

(г. Липецк, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ УВЛАЖНЕННОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Аннотация. Строится зависимость коэффициента теплопроводности изоляционного материала от его степени увлажнения, сравниваются полученные результаты с нормативными значениями, анализируются теплофизические свойства двух наиболее распространенных видов волокнистой изоляции: стекловаты и базальтовой ваты.

Ключевые слова: коэффициент теплопроводности, стекловата, базальтовая вата, увлажнение.

В действующих тепловых сетях тепловые потери определяют эффективность работы централизованных систем теплоснабжения. Основная причина роста тепловых потерь с течением времени в сетях связана с ухудшением качества тепловой изоляции трубопроводов. На рабочие характеристики тепловой изоляции большое влияние оказывают условия ее эксплуатации. Одной из основных причин роста потерь является нарушение влажностного режима. Это также приводит к разрушению изоляционного слоя трубопроводов тепловых сетей, а в дальнейшем и к интенсивной коррозии стальных труб.

В конструкциях тепловой изоляции сетей увлажнение происходит за счет сорбции влаги из воздуха при надземной прокладке или из грунта при подземной прокладке, вследствие проникновения воды через нарушенный защитный покровный слой, либо в результате затопления каналов водой, как грунтовой, так и водой из инженерных коммуникаций.

Главным фактором роста тепловых потерь при эксплуатации теплопроводов является рост коэффициента теплопроводности изоляции при насыщении ее влагой. Большим риском увлажнения обладают тепловые сети, подземно проложенные, так как в них происходит непосредственный либо косвенный контакт трубопроводов с увлажняющей средой. На степень увлажнения тепловых сетей при надземной прокладке оказывает влияние количество выпадаемых осадков, влажность воздуха, наличие и качество покровного материала.

В работе выполнено определение зависимости коэффициента теплопроводности двух наиболее распространенных теплоизоляционных материалов от их степени увлажнения: стекловаты и базальтовой ваты. Выполнено сравнение полученных результатов с нормативными значениями.

При выборе теплоизоляционного материала для проектируемых теплотрасс специалисты руководствуются преимущественно величиной коэффициента теплопроводности, который в литературе [1 – 3] представлен для материалов в сухом состоянии и в условиях эксплуатации, т.е. условиях тепловлажностного состояния окружающей среды. Сведения о теплопроводности материалов во влажном состоянии необходимы для оценки уровня тепловых потерь, так как в процессе эксплуатации сетей часто происходит замачивание теплоизоляции.

Снижение теплозащитных свойств теплоизоляционных материалов при этом происходит за счет замещения находящегося в порах материалов воздуха водой, которая является более теплопроводным компонентом.

Передача теплоты в теплоизоляционных материалах является сложным процессом, включающим ее перенос теплопроводностью, излучением и конвекцией.

В практике теплоснабжения при выполнении тепловых расчетов по определению теплозащитных свойств теплоизоляционных конструкций используются расчетные зависимости, основанные на законе Фурье. Используемый при таком подходе коэффициент теплопроводности является обобщенной характеристикой проводимости теплоты в материале и его называют эффективной теплопроводностью. Эффективную теплопроводность рекомендуется определять [1], используя уравнение

$$\lambda_{\text{эф}} = \frac{1}{\frac{1-a}{\lambda_1} + \frac{a}{\lambda_2}}, \quad (1)$$

в котором λ_1 определяется как

$$\lambda_1 = (1-m)\lambda_{\text{ск}} + W\lambda_{\text{ж}} + (m-W)\lambda_{\text{г}}, \quad (2)$$

а λ_2 определяется по выражению

$$\lambda_2 = \frac{1}{(1-m)/\lambda_{\text{ск}} + W/\lambda_{\text{ж}} + (m-W)/\lambda_{\text{г}}}, \quad (3)$$

где $\lambda_{\text{эф}}$ – эффективная теплопроводность; λ_1 – теплопроводность части материала, в которой сквозные поры расположены параллельно направлению теплового потока; λ_2 – теплопроводность части материала, в которой сквозные поры расположены перпендикулярно направлению теплового потока; a – коэффициент, характеризующий структуру материала (из документа [1] a стекловаты равен 0,7, a базальтовой ваты равен 0,76); m – пористость материала в долях единицы (из документа [1] m стекловаты равен 0,93, m базальтовой ваты равен 0,98); $\lambda_{\text{ск}}$ – теплопроводность скелета материала (жесткие связи веществ внутри материала, которые придают теплоизоляции толщину, объем, упругие свойства); W – относительная влажность по объему; $\lambda_{\text{ж}}$ – теплопроводность воды; $\lambda_{\text{г}}$ – теплопроводность воздуха, заполняющего пористую структуру материала.

Следует уточнить, что предложенная методика расчета эффективной теплопроводности влажной изоляции удовлетворительно описывает теплоперенос только при нормальных средних температурах изоляции (20...35 °С). При повышенных средних температурах теплопроводность влажной изоляции превысит расчетные значения и определяемые по уравнениям (1) – (3) в несколько раз. Объясняется это явлением термовлагопроводности – возникновением потока влаги во влажном материале при его нагревании, направленного по потоку теплоты.

Существует другая методика, по которой можно определить нормированное значение коэффициента теплопроводности для условий эксплуатации. Согласно правилам [4] он принимается в зависимости от влажностного режима изоляции и зон влажности района строительства.

В процессе работы по уравнениям (1) – (3) рассчитаны численные значения эффективной теплопроводности стекловаты, базальтовой ваты и величины нормируемого коэффициента теплопроводности [4]. Полученные результаты расчета представлены на рис. 1.

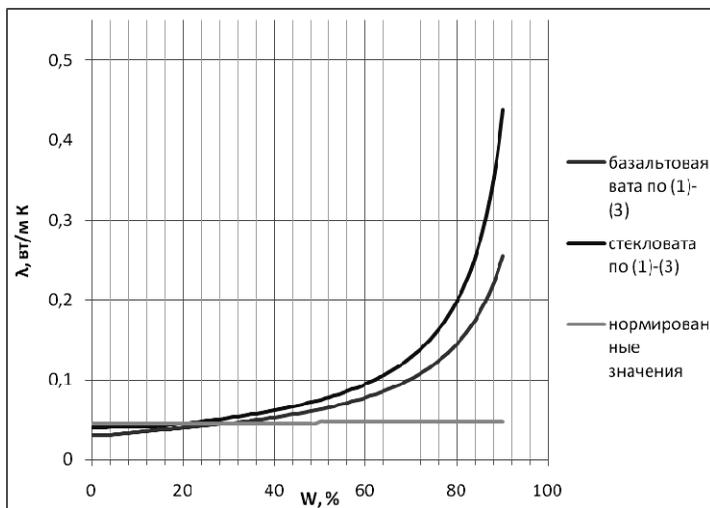


Рис. 1. Зависимость эффективной теплопроводности от влажности материала

На основании полученных кривых можно сделать следующие выводы:

- в диапазоне значений влажности до 45% значения коэффициентов теплопроводности, рассчитанные по уравнениям (1) – (3), близки к нормированным значениям;
- значения коэффициентов теплопроводности базальтовой ваты и стекловаты в среднем отличаются от нормированных значений на 46%;
- в случае полного намокания изоляции ($W = 100\%$) коэффициент теплопроводности материала равен коэффициенту теплопроводности воды.

В работе получены зависимости изменения эффективных коэффициентов теплопроводности тепловой изоляции трубопроводов от объемной влажности и выполнено сравнение с нормированными коэффициентами теплопроводности. До 60% увлажненности тепловой изоляции коэффициент теплопроводности отличается от норматива в 1,5–2 раза. При 60% и более происходит резкое увеличение коэффициента теплопроводности почти до одного порядка (в 10 раз).

В заключение отмечаем, что в случае нарушения условий эксплуатации, существования большой вероятности замачивания тепловой изоляции выгоднее использовать базальтовую вату, так как в условиях большой увлажненности материала коэффициент теплопроводности у базальтовой ваты меньше, чем у стекловаты.

Список литературы

1. Методика оценки влияния влажности на эффективность теплоизоляции оборудования и трубопроводов. МДС 41-7.2004 / ОАО «Теплопроект». – М. : ФГУП ЦПП, 2004. – 16 с.
2. Кришер, О. Научные основы техники сушки / О. Кришер. – М. : Издательство иностранной литературы, 1961. – 540 с.
3. Зеликсон, Н. М. Тепловая изоляция трубопроводов тепловых сетей / Н. М. Зеликсон, М. Г. Шпеер. – М. : Госэнергоиздат, 1962. – С. 24–25.
4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – М. : Минрегион России, 2012.

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук,
доц. В. А. Стерлигова*

Евстюхин П. А.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ПРИРОДНЫЕ ХЛАДАГЕНТЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Аннотация. Описаны основные проблемы выбора хладагента в условиях России, дан технико-экономический анализ компрессорного агрегата на трех основных хладагентах.

Ключевые слова: хладагент, холодильная установка, анализ, холодопроизводительность, холодильный коэффициент.

На данный момент в России оптимальным выбором является относительно безопасный и дешевый, приемлемый по технологии хладагент. Основными факторами выбора являются как экономическая выгода, так и наименьший объем неприятностей с надзорными учреждениями. По большей части выбор падает в сторону фреоновых систем холодоснабжения с большим количеством полугерметичных компрессоров, что ведет к наибольшему количеству автоматики и проведению ремонтов.

Стратегия выбора холодильной установки и холодильного агента должна строиться на долгосрочную перспективу и отсутствие разногласий с контролирующими организациями. Такая стратегия включает

в себя использование хладагентов, безопасных для озонового слоя, а также с пониженным парниковым эффектом. С учетом опыта стран Европы наиболее реальной видится стратегия развития перехода к природным хладагентам. К таким хладагентам при использовании в промышленном холодоснабжении можно отнести: аммиак, диоксид углерода и несколько видов фреонов с высокой стоимостью.

На данный момент в России складывается тенденция использования в новых холодильных установках дорогостоящих фреонов. Используют аммиак в промышленности гораздо реже, и в единичных случаях используют каскадные установки с аммиаком и диоксидом углерода. Тенденция связана с жесткими требованиями по безопасности аммиачных холодильных машин (АХУ) со стороны надзорных органов. В таблице 1 приведены основные характеристики промышленных хладагентов [1].

1. Основные характеристики промышленных хладагентов [1]

Хладагент	Формула или состав	Температура кипения, °С	<i>ODP</i>	<i>GWP</i>
<i>R22</i>	CF_2ClH	– 40,8	0,005	1700
<i>R507A</i>	<i>R143/125</i>	– 47,0	0	3900
<i>R410A</i>	<i>R32/125</i>	– 51,6	0	1890
<i>R717</i>	NH_3	– 34,4	0	0
<i>R744</i>	CO_2	– 57,0	0	1

Хочется уделить особое внимание экономической части. «Непарниковые» фреоны стоят гораздо дороже относительно выходящего из эксплуатации *R22* и аммиака. Разница между *R22* и *R134A* – 165%, *R404A* – 175, *R407A* – 215, *R507A* – 250, *R410A* – 282% и т.д., а сам *R22* дороже аммиака в 1,5 раза. «Новые» фреоны имеют также крупный недостаток в том, что вместе с их использованием требуется использовать новые синтетические, дорогостоящие масла [2].

Приведем сравнительные расчеты энергетической эффективности использования различных хладагентов в холодильных установках. В качестве рабочих тел холодильных машин рассматривались три основных хладагента *R717*, *R22*, *R404A* [2].

Номинальная холодопроизводительность рассчитывалась от базовой точки $t_0 = -15$ °С и $t_k = +35$ °С. Холодопроизводительность (Q_0) холодильной установки принималась равной 1000 кВт. На рисунках 1, 2 приведены результаты расчетов.

На основании рис. 1, 2 можно сделать следующие выводы [3]:

1) холодопроизводительность установок при температурах кипения хладагента $t_0 < -15\text{ }^\circ\text{C}$ выше с хладагентом R22, чем с хладагентом R717;

2) холодопроизводительность (Q_0) установок с хладагентом R404A выше, чем у установок с хладагентами R22 и R717 [3];

3) холодильный коэффициент (ε) у установок с хладагентом R404A всегда ниже, чем у установок с хладагентами R22 и R717.

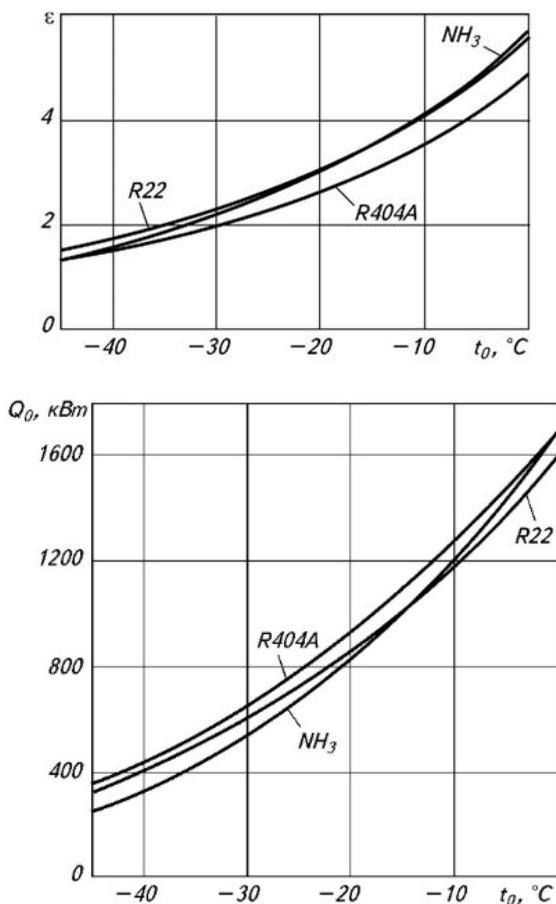


Рис 1. Энергетические характеристики холодильных установок с различными хладагентами в зависимости от температуры кипения:

ε – холодильный коэффициент; Q_0 – холодопроизводительность [2]

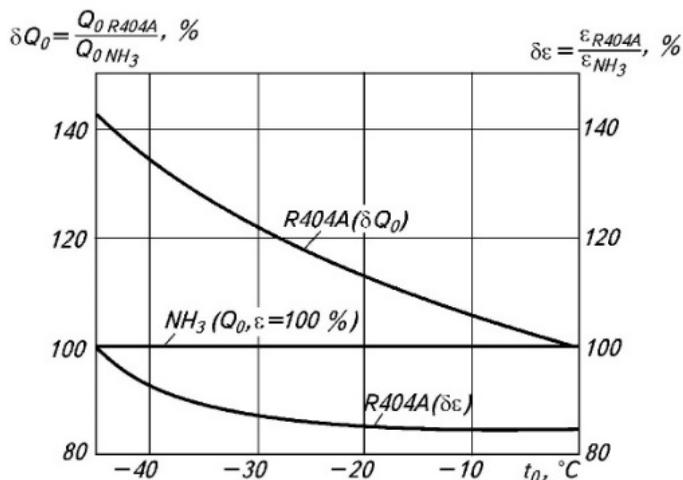
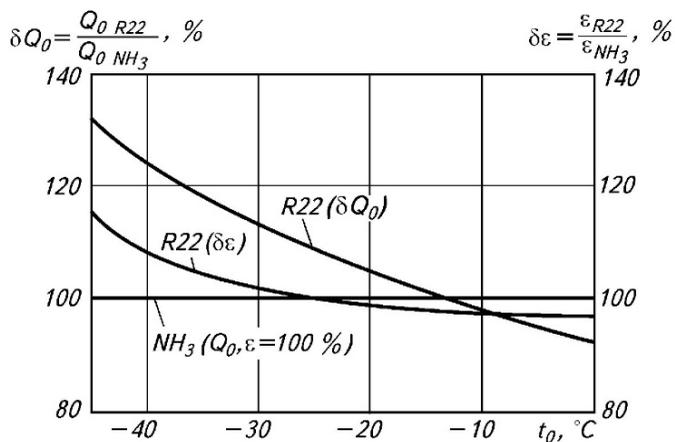


Рис. 2. Характеристики холодильных установок с винтовым компрессором, работающих на R22, R717, R404A [2]

Анализ рис. 1, 2 позволяет сделать вывод, что при температуре кипения ниже $-25^\circ C$ холодильный коэффициент при работе холодильной установки на хладагенте R22 выше, чем на R717, что соответствует теории. Так же из рис. 1, 2 следует, что разница между холодильными коэффициентами установок, работающих на R717 и R404A, не сильно отличается, однако относительная величина изменения δQ_0 и $\delta \epsilon$ может быть достаточно существенной (см. рис. 2).

Альтернативой на сегодняшний день уходящим в прошлое озоноразрушающим фреонам являются природные хладагенты, такие как аммиак, диоксид углерода, а также комбинированное их сочетание. Необходимость использования аммиачных холодильных машин подкрепляется их высокой эффективностью и экологичностью. Снижение потребления энергии на выработку холода, нужно снижать на фоне увеличения цен на энергоресурсы. К таким выводам пришли на 8-й Международной конференции им. Густава Лорентцена по природным рабочим веществам. По результатам конференции были сформулированы требования к выбору хладагентов для применения в современных промышленных холодильных установках. Для крупных холодильных систем рекомендуется использовать аммиак, для средних – диоксид углерода или углеводороды, с промежуточным хладоносителем. Мелкие установки рекомендуют эксплуатировать с углеводородами [4].

Список литературы

1. Ческотти, Оливер. Выбор хладагентов для промышленного охлаждения. Особенности стратегии и тактики в условиях России / Оливер Ческотти, К. А. Пивоваров, А. М. Рукавишников // Холодильная техника. – 2009. – № 2. – С. 18 – 20.
2. Ротгольц, Е. А. Сопоставительный технико-экономический анализ систем холодоснабжения, работающих на различных хладагентах / Е. А. Ротгольц // Холодильная техника. – 2006. – № 11. – С. 11 – 15.
3. Митропов, В. В. Расчет и сопоставление основных термодинамических процессов для идеальных и реальных рабочих тел : учебно-методическое пособие / В. В. Митропов. – М. : Университет ИТМО, 2016. – 20 с.
4. Рукавишников, А. М. Хладагенты – эликсир жизни холодильного бизнеса! Реалии и перспективы / А. М. Рукавишников // Холодильный бизнес. – 2008. – № 2. – С. 16 – 19.

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук,
доц. И. В. Рогова*

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация. Рассмотрены вопросы об использовании возобновляемых источников энергии как перспективном направлении в ближайшем будущем; приведены данные общемировых тенденций, поднят вопрос об актуальности перехода с невозобновляемых источников энергии на возобновляемые.

Ключевые слова: возобновляемые источники, энергосбережение, экология.

В настоящее время актуален вопрос о перспективе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Параллельно с быстрым ростом населения Земли за последние 70 лет [1] выросло и потребление энергоресурсов – увеличились масштабы производства, потребление энергии на каждого человека (в связи с технологическим прогрессом) и т.д. Очевидно, что эти факторы сильно влияют на мировую энергетику и задают новое направление развития способов производства энергии.

Во-первых, одним из самых важных и остро поставленных вопросов является рост потребления энергии. На рисунке 1 представлен график, отражающий тенденцию энергопотребления 1990 – 2018 гг. [2].

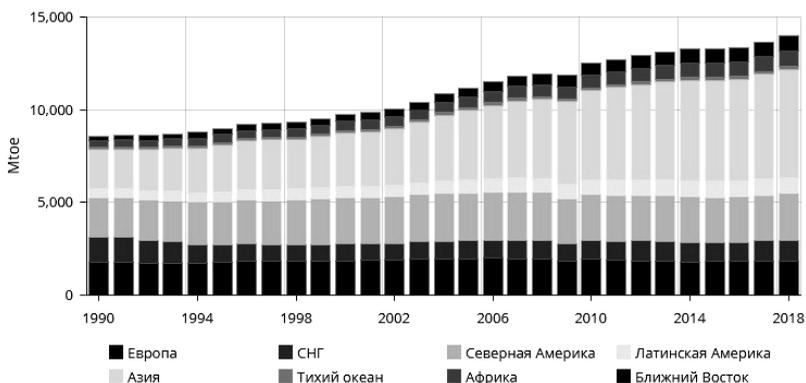


Рис. 1. Изменение мирового энергопотребления ресурсов за период 1990 – 2018 гг. [2]

Очевидно, что за последние 28 лет энергопотребление выросло в 1,5 раза, при этом большую часть потребностей человечества в энергоресурсах покрываются невозобновляемыми источниками энергии (НВИЭ). Так, за 2018 г. порядка 32% энергии выработано из нефти, 23% – из природного газа, 26% – из угля [2]. По самым пессимистичным прогнозам, невозобновляемых ресурсов может хватить менее чем на столетие, что приведет к энергетическому кризису.

Во-вторых, уже сейчас современный мир столкнулся с проблемой разрушения озонового слоя планеты из-за больших выбросов углекислого газа. По данным статистического ежегодника мировой энергетики, выбросы углекислого газа растут пропорционально мировому энергопотреблению (рис. 1). Так, выбросы в 2017 г. выросли на 2,1% в сравнении с 2016 г., и в 2018 г. на 1,9%. Выбросы углекислого газа в Китае в 2018 г. выросли на 3,1%, в России – на 3,9%, в Индии – на 4,2%. При этом в Европейском союзе они сократились на 2,1% из-за увеличения доли ВИЭ в производстве электроэнергии [2].

В-третьих, зачастую не во всех регионах население обеспечено возможностью получать тепло- и электроэнергию от общих сетей (электроэнергии или газа) из-за отдаленности (в частности, такая проблема остро стоит в РФ). Прокладывание тех или иных сетей может быть дорогим и невыгодным – в таком случае оптимальным решением становится использование возобновляемых источников.

Из вышеперечисленного следует, что в ближайшем будущем ВИЭ будут брать на себя большую долю производства энергии и постепенно вытеснят вредное производство на базе НВИЭ. Уже сегодня некоторые страны постепенно внедряют производство энергии посредством использования возобновляемых источников. Ниже представлен график (рис. 2), показывающий долю ВИЭ в производстве электроэнергии за 2018 г. [2].

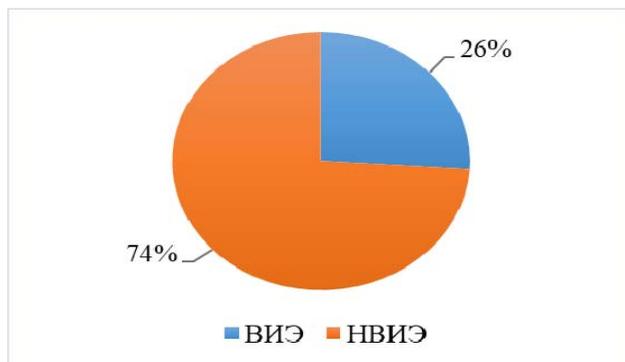


Рис. 2. Доля ВИЭ в производстве электроэнергии за 2018 г. [2]

Отсюда видно, что четверть всей электроэнергии мира производится с помощью возобновляемых источников. В нынешнее время роста потребления энергоресурсов увеличение доли ВИЭ (порядка 1% за 2018 г. в сравнении с предыдущим [2]) подтверждает тот факт, что возобновляемая энергетика имеет огромный спрос на рынке уже сейчас.

Теперь необходимо выяснить, какие из ВИЭ уже получили распространение в мире, и насколько они универсальны. Например, в США в 1997 г. возобновляемые источники вырабатывали порядка 12% всей электроэнергии (рис. 3), при этом 83% приходилось на гидроэнергетику, 13% – на использование биомассы, 3% – на геотермальную энергию и всего 1% – на ветровую и солнечную энергетiku (0,8 и 0,2% соответственно) [3].

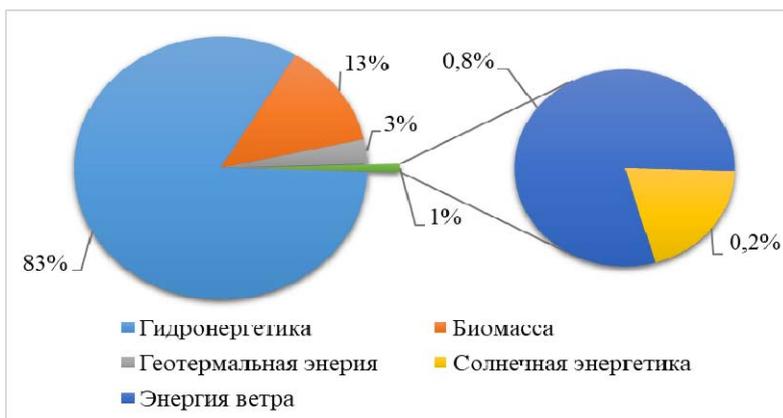


Рис. 3. Распределение использования ВИЭ в США, 1997 г. [3]

В настоящее время ВИЭ охватили куда большую долю выработки энергии (рис. 2), и теперь в большей мере используются ветровые и солнечные станции (рис. 4) [2].

Проанализировав данные из рис. 3 и 4, можно сделать вывод, что в будущем чаще будут встречаться станции на базе ВИЭ двух типов: солнечные и ветровые.

Популярные ВИЭ прошлого века (рис. 3) постепенно уходят на второй план: в случае с гидростанциями причиной является металлоемкость и влияние на экосистему, в случае с геотермальными станциями – их необходимо располагать в определенных местах, а в случае с использованием биомассы – недалеко от станции необходимо иметь источник для получения топлива [1].

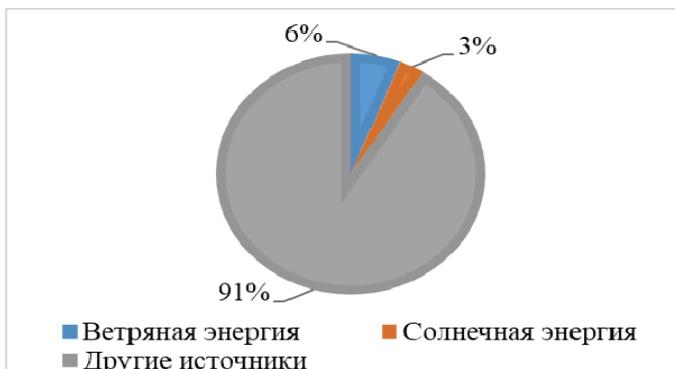


Рис. 4. Доля ветровых и солнечных станций в производстве электричества, 2018 г.

Солнечные и ветровые станции являются универсальными почти для любого местоположения, при этом занимают относительно мало места и практически не влияют на экологию – этим обусловлена популярность данных станций.

Таким образом, грамотно располагая станции на ВИЭ, можно сильно сократить потребление НВИЭ, что положительно скажется на экологии, энергосбережении и откроет новые границы для энергетики.

Список литературы и источников

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.gks.ru/>. – Загл. с экрана.
2. Статистический Ежегодник мировой энергетики 2019 [Электронный ресурс]. – URL : <https://yearbook.enerdata.ru/>. – Загл. с экрана.
3. да Роза, А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы : учебное пособие / А. да Роза ; пер. с англ. ; под ред. С. П. Малышенко, О. С. Попеля. – Долгопрудный : Издательский дом «Интеллект» ; М. : Издательский дом МЭИ, 2010. – 704 с.

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук,
доц. И. В. Рогова*

ПРИМЕНЕНИЕ ПОГОДОЗАВИСИМОЙ АВТОМАТИКИ В КОТЕЛЬНЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. Применение в котельной погодозависимой автоматики ведет к увеличению энергоэффективности системы теплоснабжения зданий. В статье описываются основные модели регулирования температуры теплоносителя, идущего к потребителям, с помощью погодозависимой автоматики.

Ключевые слова: автоматизация котельной, зависимость от погоды автоматизация, котельные, эффективный контроль, эффективность теплоснабжения жилых зданий.

Для решения задач теплоснабжения при строительстве новых жилых комплексов все большее применение находят автоматизированные модульные котельные, которые могут снабжать тепловой энергией целый район (районная котельная) или отдельный дом (крышная котельная).

Так как котельные, как правило, разрабатываются и проектируются под нужды конкретного потребителя, то одним из основных параметров их работы является создание требуемого микроклимата в жилых помещениях.

В соответствии с утвержденными нормами, температура в квартире должна быть не менее $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]. Такого значения можно достигнуть при отпуске теплоносителя с температурным графиком 95/70, где $+95\text{ }^{\circ}\text{C}$ – температура теплоносителя, идущего к потребителю, $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ – возвращающегося в котельную.

Стоит отметить, что в зависимости от температуры на улице потребителю необходимо разное количество тепла для поддержания заданного микроклимата в квартире [2]. Чтобы предоставить потребителю нужное ему в данный момент времени количество теплоты, в котельных применяют погодозависимую автоматику.

Существует два основных метода обеспечения заданного микроклимата в помещениях. В зависимости от выбранного метода существенно меняется алгоритм программирования управляющих устройств модульной котельной с погодозависимой автоматикой.

Первый метод (рис. 1) основан на использовании датчика температуры и контроллера, установленного на внешней стороне ограж-

дающей конструкции самой котельной. Термометр считывает показания температуры окружающей среды (улицы) $T_{ул}$ и при ее изменении электрический импульс поступает на задвижку трехходового крана, который, открываясь либо закрываясь, совершает смешение воды с T_3 (теплоноситель, идущий с теплообменного аппарата температурой $+95\text{ }^{\circ}\text{C}$) и T_2 (теплоноситель, возвращающийся от потребителя с температурой $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$), давая тем самым потребителям более комфортную температуру T_1 (теплоноситель, поступающий к потребителю).

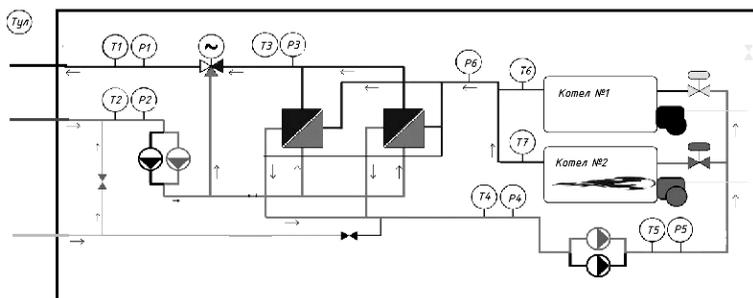


Рис. 1. Схема котельной с контролем температуры окружающей среды

При этом уравнение зависимости угла открытия трехходового крана α от уличной температуры $T_{ул}$ выводится опытным путем и не является строго определенной:

$$\cos \alpha = f(T_{ул}).$$

Другим способом регулирования температуры поступающего к потребителям теплоносителя является установка датчиков температуры непосредственно в квартирах потребителей (рис. 2).

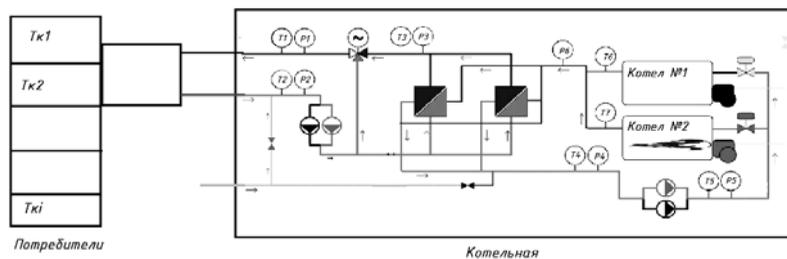


Рис. 2. Схема котельной с контролем температуры помещений потребителей

Считывая температуры помещений $T_{k1}, T_{k2}, \dots, T_{ki}$, строится зависимость

$$\cos \alpha = f(T_{k1}, T_{k2}, \dots, T_{ki}).$$

Данный метод имеет определенные ограничения и на практике может применяться только для котельных, предназначенных для отдельного дома.

Сложность применения второго метода для районных котельных связана со следующими обстоятельствами. Во-первых, класс энергоэффективности зданий в пределах одного района может быть различным, так как велика вероятность наличия построек разных годов. Из-за этого контроль температуры теплоносителя будет малоэффективен, потому что основной задачей будет обеспечить отопление более холодных помещений, что приведет к увеличению температуры у других потребителей, и цель создания требуемого микроклимата помещений будет нарушена. Во-вторых, прокладка сетей, контролирующих работу термометров в квартирах потребителей, потребует больших капиталовложений на их создание и эксплуатацию. В-третьих, возможен случай, когда жители жилых домов будут против установки датчиков температур в своих квартирах.

Исходя из рассмотренных выше методов, можно сделать вывод, что каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Вместе с тем они позволяют существенно повысить эффективность работы системы теплоснабжения.

Одним из перспективных направлений развития методов обеспечения заданного микроклимата в помещениях является применение погодозависимого регулирования с использованием расширенных данных о параметрах окружающей среды (температура, скорость ветра, влажность воздуха и др.), а также с учетом отопительной характеристики здания. Данный подход потребует разработки более сложных алгоритмов для управления теплоэнергетическим оборудованием котельной. Решение данной задачи возможно за счет применения современных методов искусственного интеллекта и теории оптимальных систем.

В заключение необходимо отметить, что погодозависимое регулирование – это вполне оправданная мера, которая позволяет повысить энергоэффективность теплоснабжения, а также увеличить степень комфорта потребителя. Однако существует ряд проблем, которые требуют разработок индивидуальных решений для каждого объекта отдельно.

Список литературы

1. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Введ. 2013-01-01. – Официальное издание. – М. : Стандартинформ, 2013. – 15 с.
2. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 2017-06-17. – Официальное издание. – М. : Стандартинформ, 2017. – 104 с.

Костиков В. Г., Костиков Р. В., Гаврилин Я. С.
Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана (г. Москва, Россия)

ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОТВОДА СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Аннотация. Для охлаждения нескольких близкорасположенных силовых полупроводниковых приборов обычно используется общая теплоотводящая пластина, эффективность отвода тепла которой определяется ее тепловым сопротивлением. Рассмотрена задача определения теплового сопротивления пластины из электроизолирующего материала при различном расположении на ней полупроводниковых приборов. Результаты решения полученных уравнений позволяют выбрать конструктивные параметры теплоотвода высоковольтных полупроводниковых приборов.

Ключевые слова: силовые полупроводниковые приборы, общий теплоотвод, тепловое сопротивление, уравнение теплопроводности.

Силовые полупроводниковые приборы (транзисторы, тиристоры, диоды) применяют в устройствах радиопередатчиков, преобразователей напряжения и тока, систем управления лучом ФАР и др. [1 – 3]. Оптимизация массы и объема указанных устройств проводится, как правило, с учетом заданного температурного режима силовых приборов, которые на практике обычно размещают на общей теплопроводящей пластине из электропроводного материала с использованием электроизолирующих прокладок. Для высоковольтных устройств приборы выбирают с высоким допустимым напряжением и устанавливают на пластину из теплопроводящего изолирующего материала, например алюмонитридной керамики [4]. В обоих случаях необходимо рассчитать температурное поле пластины с учетом размещения на ней силовых приборов для оценки их взаимного теплового влияния при повышении пробивного напряжения до 27 кВ.

Геометрическая модель решения задачи приведена на рис. 1. Пластина представлена в виде параллелепипеда, фронтальная поверхность которого имеет размеры $2a \times 2b$. Начало координат помещено в точку 0 фронтальной поверхности. Тепловой поток входит в пластину от двух силовых приборов, размещенных на площадках $\delta \times \delta$ фронтальной поверхности, и выходит через площадку $2c \times 2d$ тыльной поверхности.

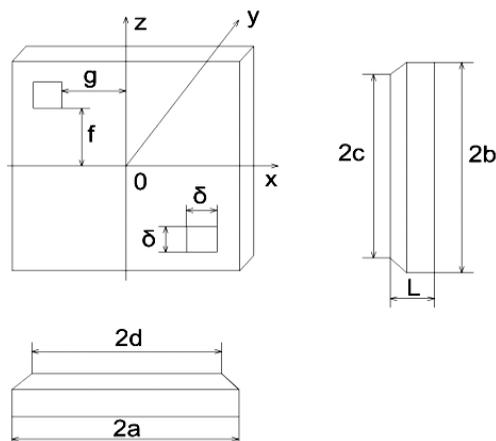


Рис. 1. Геометрическая модель и схема расположения силовых приборов на фронтальной поверхности пластины

Тепловое сопротивление R_T [5] пластины при вхождении в нее теплового потока через площадки в виде прямоугольников со сторонами размером δ определяется выражением

$$R_T = \frac{t_1 - t_2}{\Pi} - R_p, \quad (1)$$

где t_1 – температура нагреваемой поверхности пластины; t_2 – температура охлаждаемой поверхности пластины; Π – тепловой поток, входящий в пластину; R_p – тепловое сопротивление между фронтальной и тыльной поверхностями пластины при равномерном распределении входящего теплового потока по ее фронтальной поверхности.

Решая уравнение теплопроводности для трехмерного случая с учетом действующих ограничений, произведя необходимые математические преобразования, тепловое сопротивление пластины для рассматриваемого случая можно получить в виде

$$R_T = \frac{4r_T ab}{\pi^5} \sum_i \sum_j \left\{ \frac{cth(\pi \varepsilon L)}{i^2 j^2 \varepsilon} \left[\frac{\mu^2 q^2}{c^2 d^2} + \frac{32t^2 \eta^2 u^2 \theta^2}{\delta^4} \right] - \frac{12\mu q t \eta u \theta}{i^2 j^2 c d \delta^2 sh(\pi \varepsilon L)} \right\}, \quad (2)$$

где $\varepsilon = \sqrt{\frac{i^2}{a^2} + \frac{j^2}{b^2}}$; $\mu = \sin \frac{\pi ic}{a}$; $\theta = \cos \left[\frac{\pi j}{2b} (2f + \delta) \right]$; $t = \sin \frac{\pi i \delta}{2a}$;
 $q = \sin \frac{\pi j d}{b}$; $\eta = \sin \frac{\pi j \delta}{2b}$; $u = \cos \left[\frac{\pi i}{2a} (2g + \delta) \right]$.

В формуле (2) выражения под знаком суммирования вычисляем для всех значений $i \neq 0$ и $j \neq 0$. Применимость полученного соотношения в инженерной практике проверена на реальной конструкции источника электропитания радиопередатчика. Исследованы пластины из корундовой керамики марок ВК94-1, ВК100-1 и К100-2, рассчитанные на жесткие условия эксплуатации. Размеры пластины приведены на рис. 2. На поверхность А нанесен слой из проводящей пасты ПП8 толщиной 30 мкм.

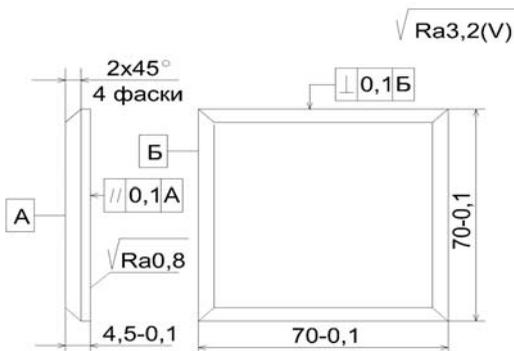


Рис. 2. Размеры пластины из корундовой керамики

Сочетаемые по расширению с корундовой керамикой материалы (29НК, 38НКД, 47НД, молибден, титан) имеют сравнительно низкую теплопроводность по сравнению с алюминиевым сплавом марки АМг3, из которого изготовлен корпус изделия. Крепление пластин к корпусу из алюминиевого сплава пайкой обеспечивает хороший теплоотвод, но в процессе эксплуатации возможно появление трещин в пластинах, что имело место при испытаниях макетного образца. Поэтому тепловой контакт пластины и корпуса обеспечивался прижимами с помощью изолирующих шайб или уголков и болтов из полиамида марки ПА610-1-105.

При экспериментах тепловой поток, равный 5 Вт, входил в каждую из двух площадок с размерами 10×10 мм. Исследованы четыре пластины с размерами 50×50 , 60×60 , 80×80 и 100×100 мм. Влияние взаимного расположения площадок на тепловое сопротивление пластин, полученное расчетным путем, показано на рис. 3, при этом приняты одинаковыми g и f . Из рисунка 3 следует, что тепловое сопротивление имеет наибольшие значения при расположении тепловыделяющих приборов в углах пластины или возле ее середины. Наименьшие значения тепловое сопротивление имеет при размещении приборов в центрах квадратов, в которых приборы находятся.

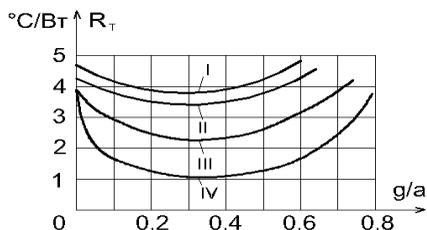


Рис. 3. Зависимость теплового сопротивления пластин от расположения тепловыделяющих приборов (g/a) при размерах пластин 50×50 мм (I), 60×60 мм (II), 80×80 мм (III) и 100×100 мм (IV)

Таким образом, с помощью зависимости (2) можно оценить влияние на тепловое сопротивление пластины следующих параметров:

- размеров пластины $2a \times 2b$ с учетом ее теплофизической характеристики;
- размеров $\delta \times \delta$ площадок, через которые тепловой поток передается в пластину;
- положения площадок относительно начала координат на пластине;
- размеров $2c \times 2d$ тыльной части пластины, через которую выходит тепловой поток.

Список литературы

1. Глушицкий, И. В. Конструктивные особенности устройств охлаждения для бортовых АФАР / И. В. Глушицкий, И. И. Зайченко // Антенны. – 2008. – Вып. 9(136). – С. 70 – 74.
2. Схемотехника устройств на мощных полевых транзисторах : справочник / В. В. Бачурин, В. Я. Ваксенбург, В. П. Дьяконов и др. ; под. ред. В. П. Дьяконова. – М. : Радио и связь, 1994. – 280 с.

3. Березин, О. К. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры / О. К. Березин, В. Г. Костиков, В. А. Шахнов. – М. : Три Л, 2000. – 400 с.

4. Калистратов, Н. А. Улучшение эксплуатационных характеристик высоковольтных источников питания для мощных ламп с бегущей волной : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.12 / Н. А. Калистратов. – Саратов, 2017. – 137 с.

5. Роткоп, Л. Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры / Л. Л. Роткоп, Ю. Е. Спокойный. – М. : Советское радио, 1976. – 232 с.

Махмуд Мохаммед Али Сами

Тамбовский государственный технический университет

(г. Тамбов, Россия)

ПОТЕНЦИАЛ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ИРАКЕ

Аннотация. Рассмотрено использование солнечного органического цикла Ренкина для выработки электрической энергии для жилого дома в климатических условиях Ирака.

Ключевые слова: электроэнергия, солнечная энергия, солнечное излучение, солнечный органический цикл Ренкина.

Появление современных технологий и увеличение населения привело к увеличению потребления энергии во всем мире и в Ираке в частности. Зависимость от использования ископаемого топлива для производства электроэнергии приводит к серьезным экологическим проблемам, таким как истощение озонового слоя, глобальное потепление и загрязнение воздуха. Решением этих проблем является использование альтернативных технологий, использующих возобновляемые источники энергии, чтобы произвести тепловую энергию. Источником энергии в них является окружающая среда. Ирак полагается главным образом на ископаемое топливо для производства электроэнергии. Возобновляемая солнечная энергия является одним из самых многообещающих источников энергии, который характеризуется устойчивостью и чистотой [1].

Ирак – страна, расположенная около солнечного пояса, который характеризуется высокой интенсивностью солнечного излучения и высоким периодом яркости в течение года. Эти свойства делают

использование возобновляемых источников энергии, особенно солнечной энергии, возможным и эффективным.

Климат Ирака характеризуется высокими температурами летом и умеренной зимой, наивысшие температуры в июне, июле и августе, между 43 и 55 °С в полдень. В январе температуры располагаются между 1...8 °С.

Ирак получает количество солнечного излучения со средним числом (6,5...7,0) кВт/м². Периоды яркости солнца располагаются с 2800 до 3300 ч ежегодно. Самая высокая фактическая яркость солнца находится в июне в среднем числе 11,4 ч/сут, и самого низкого в январе на 6,3 ч/сут [2]. Кроме того, интенсивность солнечного излучения, попадающего на землю, находится в пределах от 416 Вт/м² зимой до 833 Вт/м² летом [3]. Это дает Ираку необходимые квалификации для эксплуатации солнечной энергии. Эти высокие показатели делают использование солнечной энергии эффективным для выработки электроэнергии из фотоэлектрических и тепловых солнечных систем.

Несмотря на эти достоинства, Ирак все еще отстает в использовании и эксплуатации солнечной энергии для производства электроэнергии. Ирак расположен в зоне с 2000 кВт/м² к 2500 кВт/м² ежегодным средним ежедневным энергиям от глобального солнечного излучения (рис. 1) [4].

Производство электроэнергии из солнечной энергии является одним из альтернативных путей решения нынешнего энергетического кризиса в Ираке и экологических проблем, влияющих на наш мир [5].

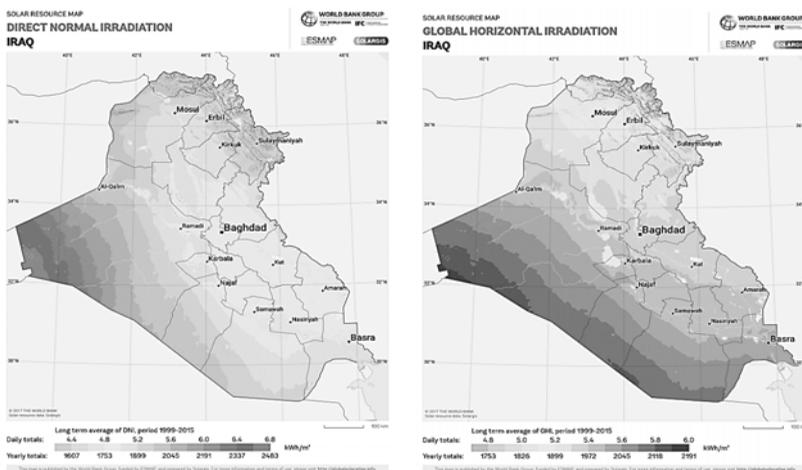


Рис. 1. Прямое и рассеянное солнечное излучение в Ираке

Использование солнечного органического цикла Ренкина является хорошим вариантом, который использует органическую жидкость и может использовать геотермальную энергию, отработанное тепло и энергию биомассы в качестве источника тепла для выработки электроэнергии в Ираке (рис. 2). В отличие от парового энергетического цикла, где вода является рабочей жидкостью, органические циклы Ренкина используют хладагенты или углеводороды в качестве рабочей жидкости. Целью данной работы является использование солнечного органического цикла Ренкина для выработки электрической энергии для жилого дома в климатических условиях Ирака.

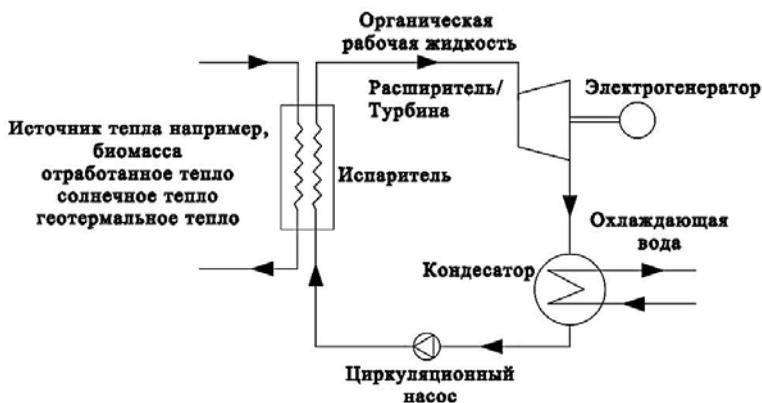


Рис. 2. Принципиальная схема органического цикла Ренкина (ОЦР)

Список литературы и источников

1. Analysis of fossil fuel energy consumption and environmental impacts in European countries / F. Martins et al. // *Energies*. – 2019. – V. 12. – № 6. – P. 964.
2. Basheer, M. J. Solar Energy Applications in Iraq: A Review / M. J. Basheer // *International Journal of Scientific Engineering and Science*. – 2017.
3. Kazem, H. A. Status and future prospects of renewable energy in Iraq / H. A. Kazem, M. T. Chaichan // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2012. – V. 16. – № 8. – P. 6007 – 6012.
4. Solargis.info.solar maps.resource maps and GIS data for 200+ countries. – URL : <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/iraq>
5. Saitoh, T. Solar Rankine cycle system using scroll expander / T. Saitoh, N. Yamada, S. I. Wakashima // *Journal of Environment and Engineering*. – 2007.

Попов О. Н., Никулин П. Н., Чубаров Р. Ю., Шпаков А. И.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Аннотация. Представлено описание и принцип работы тепловой электростанции, предложен способ повышения эффективности конденсационной установки посредством использования энергетического разделителя потоков газа.

Ключевые слова: тепловые электростанции, обратное водоснабжение, вихревая труба.

Расположение большей части административной территории страны в климатических зонах низкого температурного фона влечет за собой преобразование значительного объема топливно-энергетических ресурсов в тепловую энергию. Ежегодно в России производится более 2 млрд Гкал тепла, на выработку которого расходуется примерно 70% первичных топливных энергетических ресурсов, потребляемых в стране [1].

Преимущественно источниками производства тепловой энергии остаются тепловые электростанции (ТЭС), строительство которых было эффективным инженерным решением советских теплоэнергетиков. В настоящее время подавляющую часть ТЭС составляют паротурбинные установки, работающие на газообразном, твердом и жидком топливе, которые в свою очередь подразделяют на конденсационные электростанции (КЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) [2].

Основными агрегатами паротурбинной электростанции являются паровой котел 1 и паровая турбина 2 (рис. 1). Получаемый перегретый пар высоких параметров в котле 1 направляется в паровую турбину 2, где его потенциальная тепловая энергия превращается в механическую энергию вращения вала турбины, с которым связан электрический генератор 3. Отработанный пар из паровой турбины поступает в конденсатор 5, где теплота конденсации пара передается охлаждающей воде. Полученный конденсат перекачивают насосами в паровой котел 1.

Организация отбора части пара из промежуточных ступеней паровой турбины для осуществления теплофикации потребителей отличает принципиальную схему паротурбинной установки ТЭЦ от схемы КЭС.

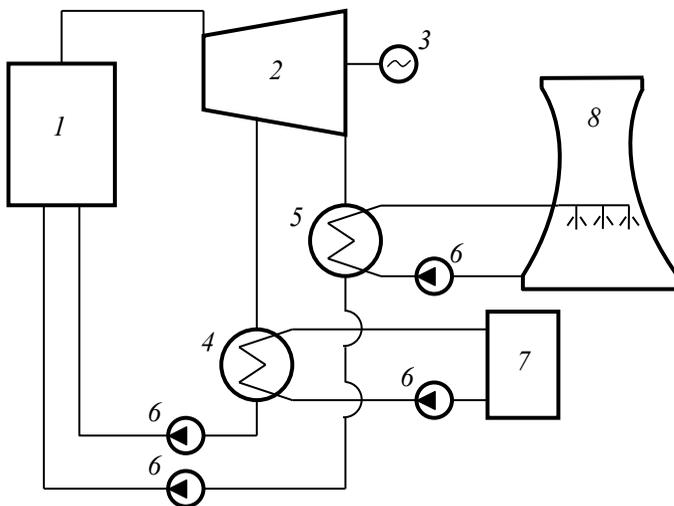


Рис. 1. Принципиальная схема паротурбинной установки ТЭЦ:

1 – паровой котел; 2 – паровая турбина с отбором пара на теплофикацию; 3 – электрогенератор; 4 – конденсатор отборного пара; 5 – конденсатор отработавшего пара; 6 – насос; 7 – потребитель тепловой энергии; 8 – градирня

В процессе эксплуатации паротурбинной установки на ее экономичность и надежность существенное влияние оказывает эффективность работы конденсационной установки (КУ). Основным показателем работы КУ является давление пара p_k в конденсаторе, величина которого определяется температурой насыщения t_n . Температура насыщения t_n зависит от ряда параметров, таких как нагрев охлаждающей воды в конденсаторе, температура охлаждающей воды на входе в конденсатор, недогрев охлаждающей воды в конденсаторе до t_n .

В среднем для большинства турбин увеличение давления конденсации на 1 кПа влечет за собой потерю 1% мощности турбины [3].

Функциональная зависимость давления конденсации от основных параметров, определяющих эффективность работы конденсатора, имеет следующий вид:

$$p_k(t_n) = f(t_{1в}, m, k, d_k),$$

где $t_{1в}$ – температура охлаждающей воды на входе в конденсатор; m – кратность охлаждения; k – коэффициент теплопередачи; d_k – удельная паровая нагрузка.

Давление конденсации в наибольшей степени зависит от начальной температуры охлаждающей воды.

В общем случае системы охлаждения конденсаторов можно подразделить на мокрую, сухую и гибридную системы. В независимости от того, какая из систем охлаждения реализуется на станции, эффективность ее работы во многом будет определяться температурой наружного воздуха, используемого для понижения температуры воды на входе в конденсатор.

Для поддержания постоянной температуры наружного воздуха, поступающего в градирню для охлаждения воды, предлагается использовать энергетический разделитель потоков газа (вихревую трубу).

Принцип действия данного устройства заключается в том, что сжатый воздух поступает в цилиндрическую трубу через отверстие, расположенное по касательной к ее внутренней окружности. Вследствие тангенциального расположения отверстия струя газа приобретает вначале интенсивное круговое движение, а затем дополнительно еще и поступательное.

В потоке вязкого, сжимаемого воздуха при наличии в нем турбулентной составляющей скорости и градиента статического давления, направленных по нормали к скорости основного движения, возникает вихревой эффект. Он проявляется в разделении исходного потока газа, имеющего вначале одинаковую во всех точках температуру, на две части: внешнюю, примыкающую к стенкам трубы с температурой выше первоначальной и внутреннюю, в которой температура будет меньше по сравнению с начальной. Такой результат обусловлен двумя факторами. В объеме движущегося воздуха, примыкающего к стенкам трубы, статическое давление повышается, а на осевой линии понижается, что приводит к перераспределению статической температуры по сечению в соответствии с законом адиабаты и уменьшению температуры в области пониженного давления. Кроме того, поле угловых скоростей вихря в поперечном сечении трубы является неравномерным. При вращательно-поступательном движении вдоль трубы центральные слои газа увлекают периферийные слои вследствие проявления вязкости, отдают последним часть кинетической энергии, что приводит к дополнительному снижению температуры газа в осевой области [4].

Такой способ одновременного получения холодного и теплого потоков позволит в любое время года поддерживать необходимое постоянное значение температуры воздуха для охлаждения воды, поступающей в конденсатор.

Таким образом, повышение эффективности конденсационных установок позволит получить экономию топлива на действующих тепловых электростанциях в условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2015 – 2016 годы : информационно-аналитический доклад / ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России. – М., 2018. – 138 с.

2. Ушаков, В. Я. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК : учебное пособие / В. Я. Ушаков, Н. Н. Харлов, П. С. Чубик. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 283 с.

3. Бродов, Ю. М. Конденсационные установки паровых турбин : учебное пособие / Ю. М. Бродов, Р. З. Савельев – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 288 с.

4. Меркулов, А. П. Вихревой эффект и его применение в технике / А. П. Меркулов. – Самара : Оптима, 1997. – 355 с.

Секция 2

ГЕНЕРАЦИЯ, ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Блюк В. В., Ершов М. С., Комков А. Н.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина (г. Москва, Россия)

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ БЫСТРОГО РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ МНОГОМАШИНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. Для компьютерного моделирования промышленных систем электроснабжения предложен алгоритм расчета переходных процессов на основе метода свертки цепей. Предложенный метод был применен в программном комплексе SAD и апробирован при расчете режимов и переходных процессов в промышленных электротехнических системах. Для сравнения результатов приведен пример расчета процесса запуска асинхронного привода электрической системы с использованием программных систем SAD и ETAP.

Ключевые слова: электротехнические системы, переходные процессы, расчет, программы.

Обеспечение надежной работы многомашинных промышленных электротехнических систем с большим составом электродвигательной нагрузки, чувствительных к кратковременным нарушениям электроснабжения, требует предварительного расчета и анализа электромеханических переходных процессов, для расчета которых применяются специальные программные средства [1, 2]. В основе большинства из существующих программ лежит метод узловых напряжений, обеспечивающий расчет режимов электрической сети итерационными процедурами. Достоинством метода является то, что с его помощью рассчитывается сложная схема любой структуры. Реализация метода узловых напряжений осуществляется итерационными процедурами в рамках допустимой точности, оцениваемой с помощью невязки исходных и расчетных данных. Если значение невязок становится сопоставимым со значениями электрических нагрузок промышленных систем электроснабжения, то это может приводить к существенным ошибкам.

Для систем промышленного электроснабжения, имеющих в штатных режимах разомкнутую структуру, более эффективным является применение метода свертки, т.е. прямого метода расчета, не обуславливающего какую-либо невязку расчетных и исходных данных.

На каждом шаге счета электродвигательная нагрузка сводится к значению эквивалентных сопротивлений схем замещения асинхронных и синхронных двигателей.

Расчет электрического состояния системы – определение токов и напряжений, осуществляется методом свертки схемы. Организуется цикл перебора по узлам схемы замещения системы внутреннего электроснабжения, начиная с максимального номера. Узлы нумеруются сверху вниз и слева на право. Для узла определяются проводимости всех отходящих от него ветвей. Далее определяется проводимость текущего узла относительно точки нулевого потенциала, затем определяется проводимость относительно точки нулевого потенциала ветви, входящей в текущий узел. Таким образом, к концу цикла определены проводимости всех ветвей и узлов относительно точки нулевого потенциала. Далее начинается новый цикл перебора по узлам схемы, начиная с первого, значение напряжения в котором равно эквивалентной ЭДС питающей энергосистемы. Таким образом, к концу цикла определены напряжения всех узлов системы внутреннего электроснабжения и токи всех ветвей, в том числе и токи статоров двигателей.

Весьма значительное число расчетов, выполненных авторами для ЭТС различных предприятий, показывает, что во всех практически интересующих случаях сходимость может быть обеспечена за счет выбора шага интегрирования. Разработанные алгоритмы реализованы в программном комплексе SAD, который успешно использовался для многовариантных итерационных расчетов [3, 4].

Для примера рассмотрим результаты расчета процесса пуска двигателя, выполненные с помощью программного комплекса SAD и программного комплекса ETAP. Моделирование проводилось на примере однородной электротехнической системы, представленной на рис. 1 и содержащей в своем составе: систему внешнего электроснабжения и понижающий трансформатор суммарным эквивалентным сопротивлением $0,012 + 0,535j$; шину 10 кВ; кабельные линии от шины до электродвигателей сопротивлением $0,02 + 0,008j$; 10 асинхронных электроприводов номинальной мощностью 4 МВт.

На рисунке 2 представлены результаты сравнения одновременного пуска двух асинхронных двигателей. Расхождение результатов обусловлено незначительными расхождениями параметров схем замещения асинхронных двигателей.

На графике тока, определенном в ETAP на конечном участке пусковой характеристики, имеются колебания тока. Этот эффект обусловлен реализуемым в программном комплексе алгоритмом расчета. В данном случае использовался адаптивный метод Ньютона–Рафсона.

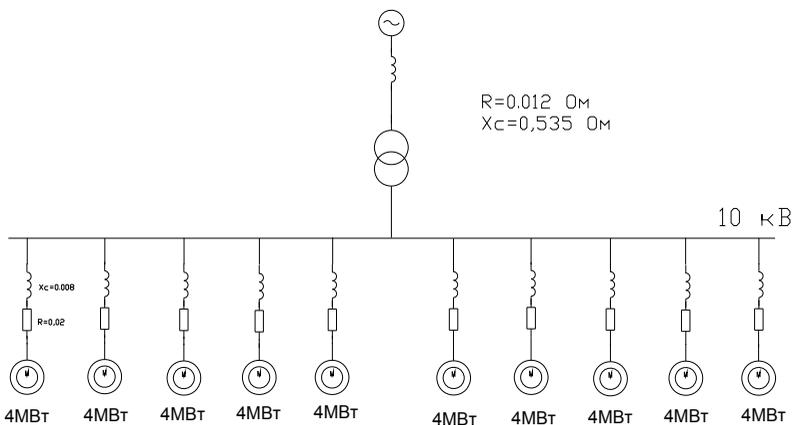


Рис. 1. Однородная электротехническая система, используемая для сравнения результатов моделирования в программных комплексах SAD и ETAP

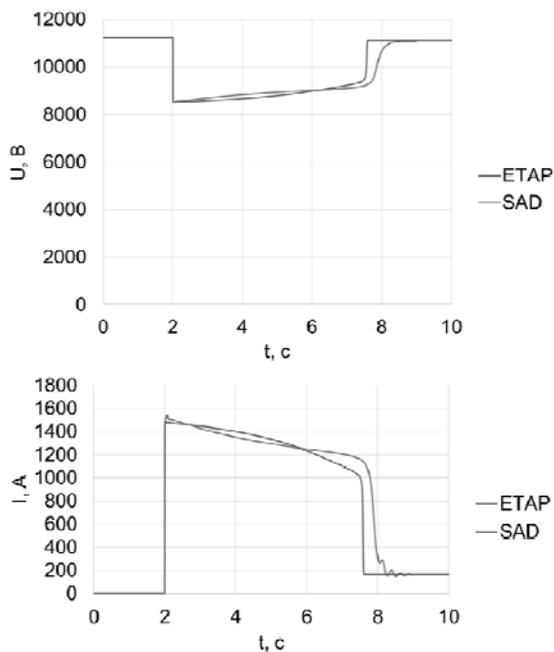


Рис. 2. Графики напряжения на шине и входного тока в результате пуска 2-асинхронных двигателей мощностью 4 МВт в ETAP и SAD

Изменение метода на другой, доступный в ETAP, не позволяет устранить ошибку. Это связано с возникновением невязки счета, о которой говорилось выше, и с тем, что все заложенные методы имеют в своей основе расчет на основе матрицы узловых напряжений. Поэтому для них возможно при определенных параметрах возникновение вырожденной матрицы или матрицы с малыми коэффициентами, при которых незначительное изменение одного параметра может привести к существенному изменению другого.

Таким образом, для разомкнутых электромеханических систем использование программных комплексов, реализованных на алгоритме свертки, является целесообразным и оправданным. Позволяет избежать ошибок счета и возникновения случая несходящейся итерационной процедуры.

Список литературы

1. Меньшов, Б. Г. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности / Б. Г. Меньшов, М. С. Ершов, А. Д. Яризов. – М. : Недра, 2000. – 487 с.

2. Гамазин, С. И. Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой / С. И. Гамазин, В. А. Ставцев, С. А. Цырук. – М. : Изд-во МЭИ, 1997. – 420 с.

3. Rtnuka, Kamdar Transient stability analysis and enhancement of IEEE-9 bus system / Rtnuka Kamdar, Manoj Kumar, Ganga Agnihotri // Electrical & Computer Engineering: An International Journal (ECIJ). – 2014. – V. 3, № 2. – P. 41 – 51.

4. Impact of Loads on Power Flow in Power Systems Using PowerApps and ETAP / Aissa Souli, Abdelhafid Hellal, Rami Bashour, Ahmad Kharaz // Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 91 NR 7/201. – P. 120 – 123.

Зарандия Ж. А., Ручьев А. Г., Дадонов Р. А., Захаров А. О.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Аннотация. Рассмотрена необходимость внедрения цифровых технологий в электроэнергетику, представлена схема управления Smart Grid, предложено использование интеллектуальных измерительных приборов с функцией дистанционного управления на примере цифрового трансформатора тока и напряжения.

Ключевые слова: Smart Grid – «умная сеть», цифровая подстанция, цифровой трансформатор тока и напряжения.

Развитие современного промышленного производства приводит к росту энергопотребления во всех отраслях народного хозяйства.

Исследования в сфере производства, распределения и потребления электроэнергии показывают, что большая часть потерь – до 90% – приходится на сферу потребления, следовательно, одной из основных задач экономии электроэнергии является технологическое совершенствование промышленности, оснащение предприятий энергосберегающим оборудованием, модернизация имеющегося оборудования, что позволит не только уменьшить расходы энергии, но и решить многие экологические проблемы.

В настоящее время в мире началось массовое внедрение решений класса «цифровая подстанция», основанных на стандартах серии МЭК 61850, реализуются технологии управления Smart Grid – «умная сеть», вводятся в эксплуатацию приложения автоматизированных систем технологического управления. Применение технологии «Цифровой подстанции» должно позволить в будущем существенно сократить расходы на проектирование, пуско-наладочные работы, эксплуатацию и обслуживание энергетических объектов.

Смарт-грид включает в себя стадии производства, передачи, распределения, хранения и потребления электроэнергии и состоит (рис. 1) из передовых IT-, коммуникационных и энергетических технологий, интеллектуальных измерительных приборов и преобразователей, системы защиты, силовой электроники, элементов АСУ ТП. Все это позволяет эффективно управлять отраслью, снизить потери электроэнергии и минимально воздействовать на окружающую среду.



Рис. 1. Технологии управления Smart Grid

«Умная сеть» предусматривает самовосстанавливающиеся технологии, проводящие диагностику и позволяющие изолировать поврежденные участки и узлы системы, сохраняя бесперебойность электропитания в целом. Она автоматически восстанавливает работоспособность аварийного элемента, изменяя маршрут передачи электроэнергии и информируя ремонтный персонал.

Сегодня многие процессы управления российской энергосистемой уже во многом интеллектуализированы: на энергообъектах применяются автоматика, релейная защита, внедрены системы телеуправления (АСКУЭ, АСУ ТП), осуществляется дистанционное диспетчерское управление, налажен двусторонний обмен информацией.

Одним из приоритетных направлений развития ИТ в энергетике в соответствии с концепцией Smart Grid является внедрение новых интеллектуальных (smart) измерительных приборов и измерительных преобразователей с функцией дистанционного управления.

ООО НПО «ЦИТ», г. Иваново, разрабатывает цифровые трансформаторы тока и напряжения, полностью соответствующие концепции развития Smart Grid.

Цифровой трансформатор тока и напряжения (ЦТТН) (рис. 2) предназначен для измерения и передачи параметров тока и напряжения приборам измерения, учета, защиты, автоматики, сигнализации и управления в сетях переменного тока на номинальное напряжение 6(10) с частотой 50 Гц.

Передача данных происходит по оптическим кабелям в соответствии с протоколом IEC 61850-9.2LE или по медным кабелям в виде аналогового сигнала.



Рис. 2. Структурная схема ЦТТН

В составе ЦТТН применяется инновационная система датчиков, обеспечивающая преобразование тока и напряжения с высокой точностью и без искажения формы сигнала в переходных режимах.

ЦТТН содержит несколько первичных преобразователей тока и напряжения, измерительная информация с которых предназначена для различных устройств потребителей (РЗА, АИИСКУЭ).

Исполнение цифровых трансформаторов тока и напряжения, возможно как в едином, так и в отдельных корпусах, без применения масла или элегаза, это обеспечивает их взрыво- и пожаробезопасность.

Метрологические и массогабаритные показатели позволяют использовать ЦТТН при построении пунктов коммерческого учета (в том числе автономных) на базе цифровых или аналоговых счетчиков электрической энергии.

Благодаря передаче метрологической информации по международному стандартизированному протоколу 61850-9.2LE возможно использование ЦТТН в качестве полноценного источника информации о токах и напряжениях на цифровой подстанции.

Можно сделать выводы, что внедрение цифровых технологий в электроэнергетику позволит повысить качество и надежность электроснабжения; снизить потери; обеспечить оптимальное распределение электроэнергии по сетям, централизованное дистанционное управление и техническое обслуживание энергообъектов.

Список литературы

1. Чичев, С. И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий / С. И. Чичев, В. Ф. Калинин, Е. И. Глинкин. – М. : Издательский дом «Спектр», 2017. – 228 с.

2. Решение проблемы предоставления электрической энергии нормируемого качества для сельскохозяйственных потребителей / А. В. Кобелев и др. // Научный потенциал вуза – производству и образованию : сб. ст. по материалам XIII Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию Кубанского государственного технологического университета ; Кубанский государственный технологический университет ; Армавирский механико-технологический институт ; Краснодарское региональное отделение «Союз машиностроителей России». – Армавир : Армавирский государственный педагогический университет, 2018. – С. 99 – 102.

3. Зяблов, Н. М. Варианты представления данных нейронной сети для прогнозирования потребления электрической энергии / Н. М. Зяблов, С. В. Кочергин, А. В. Кобелев // Энергетическая безопасность : сб. науч. ст. II Междунар. молодеж. конгресса. – Курск : Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2017. – С. 138–139.

Иванов В. М., Кобелев А. В., Кагдин А. Н.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

НАДЕЖНОСТЬ КРУГЛЫХ ШИНОПРОВОДОВ В СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Аннотация. Проведен анализ зависимости напряженного состояния круглой шины от амплитуды и частоты воздействующего на него электромагнитного поля, рассчитаны критические параметры импульса тока, проходящего через круглый проводник, а именно длительность импульса, величины плотности и амплитуды тока.

Ключевые слова: пондеромоторная сила, круглый проводник, токовая интенсивность.

Уровень механических напряжений на поверхности проводника определяется пондеромоторными силами от импульсного воздействия тока и его интенсивности при изменении геометрии шинпровода. Известно, что численное значение пондеромоторного давления на проводник зависит напрямую от квадрата напряженности магнитного поля

и магнитных свойств материала проводника. В связи с пропорциональностью магнитного поля и протекающего по шине тока, его напряженность также будет зависеть от степени токовой интенсивности, что явно влияет на уровень пондеромоторных сил. При этом длительность импульса тока увеличивается за счет индуктивной связи, а амплитуда формы кривой тока уменьшается. Поэтому при низких частотах магнитное поле может «проваливаться», что уменьшает амплитуду механических напряжений, а длительный фронт затухания тока может привести к смене знака напряжений на поверхности проводника. В нашем случае индуктивность системы шин незначительна, поэтому эффект проваливания магнитного поля практически отсутствует.

Оценим зависимость напряженного состояния круглой шины от амплитуды H_0 и частоты ω накладываемого поля в предположении, что максимум механических напряжений достигается в момент $t = T/4$. При этом напряженность поля в проводнике меняется за время $0 \leq t \leq T/2$ по закону, близкому к гармоническому $H = H_0 \sin(\omega t)$. Здесь T – период, а ω – круговая частота колебаний поля. Распределение магнитного поля H , и плотности тока j_ϕ в теле цилиндра бесконечной длины найдем из уравнений Максвелла

$$\nabla^2 H = -\frac{dH}{dt} = 0; \quad j = \text{rot}H. \quad (1)$$

Для плоской стационарной задачи с граничным условием

$$Hz(r) = H_0 \sin(\omega t) \quad (2)$$

система уравнений Максвелла имеет решения:

$$Hz(r) = H_0 e^{-\frac{r}{\delta}} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{r}{\delta}\right); \quad j_\phi(r) = \frac{H_0}{\delta} \sqrt{2} \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \frac{r}{\delta}\right), \quad (3)$$

где $\delta = \sqrt{\rho/\omega}$ – толщина скин-слоя. Здесь не учитывается магнитная проницаемость шинпровода, так как он выполняется из алюминия (парамагнетик) или реже меди (диамагнетик), у которых она близка к единице; ρ – удельное сопротивление материала проводника.

Распределение температуры в стенке цилиндра находим из уравнения Фурье [8]

$$C\eta \frac{\partial T(r,t)}{\partial t} - K\nabla^2 T(r,t) = J^2(r,t)\rho. \quad (4)$$

Пренебрегая теплопроводностью материала проводника за время от 0 до $T/4$, поскольку для любых проводящих материалов толщина электрического скин-слоя в десятки раз больше толщины термического, получим:

$$T_{(r)}(r) - T_0 = \frac{\rho}{C\eta} \int_0^{T/4} j^2(r, t) dt. \quad (5)$$

Из условия равновесия сил, действующих на элемент объема цилиндра, и условия деформаций можно получить систему уравнений в цилиндрической системе координат, связывающих радиальную σ_r и кольцевую σ_φ составляющие механических напряжений:

$$\frac{d(r\sigma_r)}{dr} - \sigma_\varphi - \frac{1}{10g} rj(r)H(r) = 0, \quad (6)$$

$$\frac{d}{dr} [r(\sigma_\varphi - \nu\sigma_r)] - \sigma_r + \nu\sigma_\varphi = 0, \quad (7)$$

где ν – коэффициент Пуассона; g – ускорение свободного падения.

Решение системы относительно σ_r и σ_φ имеет вид

$$\sigma_r = A + (B/r^2) + \left(1 + \frac{\nu}{2}\right) \frac{1}{10g} \int_{r_1}^{r_2} j(r)H(r)dr + 1 - \frac{\nu}{2} r^2 \frac{1}{10g} \int_{r_1}^r j(r)H(r)dr, \quad (8)$$

$$\sigma_\varphi = \frac{d}{dr} (r\sigma_r) + \frac{1}{10g} rj(r)H(r). \quad (9)$$

Здесь A и B – постоянные интегрирования, которые находятся из граничных условий $\sigma_r = 0$ при $r = R$ и внутри проводника $\sigma_{r_1} = \sigma_{r_2} = \text{const}$.

Неравномерное распределение температуры в теле проводника приводит к возникновению дополнительных температурных напряжений, которые можно подсчитать по формулам:

$$\sigma_{T_r} = \frac{\alpha E}{(1-\nu)r^2} \left[\frac{r^2 - r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \int_{r_1}^{r_2} T^0(r)rdr - \int_{r_1}^{r_2} T^0(r)rdr \right], \quad (10)$$

$$\sigma_\varphi = \frac{d}{dr} (r\sigma_r T^0), \quad (11)$$

где E – модуль упругости; α – коэффициент линейного расширения.

Искомая зависимость суммарных кольцевых сжимающих напряжений на поверхности $\left[\sigma_{\phi}(R) + \frac{\sigma_{\phi}}{\sigma_{\phi}(T^0)}(R) \right]$ зависит от параметра σ/r . Поэтому наибольшая эффективность магнитного поля в деформации наступает при минимальной длительности импульса, когда толщина скин-слоя меньше $0,1R$, что практически невозможно даже при коротких замыканиях. Поэтому в реальных случаях величина кольцевых сжимающих напряжений изменяется незначительно.

В то же время для повышения надежности шинопроводов продолжительность действия сжимающих деформационных полей от пондеромоторных напряжений должна быть возможно меньшей. Компромиссным решением является, по-видимому, прохождение импульсов тока такой длительности, при которой величина скин-слоя приближается к одной десятой радиуса проводника. Расчет показывает, что сжимающие кольцевые напряжения создаются в основном пондеромоторными силами, а их суммарное значение $\sigma_{\phi}(r^2) + \sigma_{\phi}^{T^0}(r^2)$ зависит только от H_0^2 . Это обстоятельство позволяет, задавшись уровнем необходимых для зарождения очагов разрушения напряжений, вычислить параметры поля. Примем в качестве критерия величину пондеромоторных напряжений, равных пределу текучести материала проводника σ_T . Тогда при этом условии $\sigma_{\phi} = \sigma_T$, напряженность магнитного поля для алюминиевых шин ($\sigma_T = 250$ МПа) составит $1,6 \cdot 10^8$ А/м. Если считать проводник круглого сечения с радиусом 10 мм, что примерно соответствует реальной шине, плотность тока при этом должна быть равна 10^7 А/м², а амплитуда тока соответственно 10^3 А при его длительности 10^{-6} с. Такие короткие импульсы тока в распределительных сетях низкого напряжения бывают достаточно редко, хотя значения амплитуды тока по плотности наблюдаются часто из-за изменения режимов работы сети и наличия геометрических неоднородностей в шинопроводах.

Список литературы

1. Энергетические каналы диссипации электромагнитной энергии в дефектных проводниках. Ч. 2 / В. М. Иванов и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 179 – 187.

2. Критерии надежности электромагнитного разрушения шинопроводов / В. М. Иванов и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 80 – 88.

3. Токовая интенсивность на шинопроводах с геометрическими неоднородностями / В. М. Иванов и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 188 – 198.

4. Иванов, В. М. Разрушение дефектных проводников с током в магнитном поле / А. В. Лановая, А. А. Лозенков, Т. Н. Плужникова // Известия РАН. Сер. Физическая. – 2008. – Т. 72, № 9. – С. 1341 – 1343.

5. Иванов, В. М. Термомеханическая и пондеромоторная стойкость проводников / В. М. Иванов, А. В. Лановая, Е. Б. Винокуров // Вестник Тамб. универ. Сер. Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18, Вып. 4. – С. 1745 – 1747.

6. Кнопфель, Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля / Г. Кнопфель. – М. : Мир, 1972. – 391 с.

7. Анисимов, С. И. Действие излучения большой мощности на металлы / С. И. Анисимов. – М. : Наука, 1970. – 245 с.

Кагдин А. Н., Тулупов К. И.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Рассмотрены вопросы актуальности использования альтернативных источников энергии, в частности солнечной энергетики в Тамбовской области, произведен расчет стоимости солнечной электростанции, объемов вырабатываемой ею электроэнергии, а также рассчитаны сроки окупаемости.

Ключевые слова: солнечная энергетика, альтернативная энергетика, солнечная электростанция.

Потребление энергоресурсов в современном мире неуклонно растет, что ведет к истощению природных запасов, а также негативно сказывается на экологии. Ввиду этого становится актуальным вопрос использования альтернативных возобновляемых источников энергии. Одним из таковых является солнечная энергетика, активно набирающая популярность в европейских странах.

Первое место на рынке фотоэлектрических систем в Европе занимает Германия, устанавливая 21 ГВт в период с 2019 по 2024 гг.

Второе место занимает Испания с показателем, близким к 20 ГВт. Третье и четвертое место делят Франция (17 ГВт) и Нидерланды (13 ГВт) [9].

В России задействовано 35 солнечных электростанций суммарной мощностью более 800 МВт. Самыми крупными по установленной мощности являются: Перово (105,6 МВт), Самарская СЭС (75 МВт), Николаевка (69,7 МВт), Ахтубинская СЭС (60 МВт) и Фунтовская СЭС (60 МВт) [8].

Отставание России от Европы обуславливается предпочтением традиционной энергетики к солнечной и закрепившимся убеждением того, что строительство станций на данной основе не имеет экономической эффективности и, следовательно, коротких сроков окупаемости.

Самое эффективное использование солнечных электростанций достигается в странах, близких к экватору, однако и в России возможно использование солнечной энергии.

Рассмотрим возможность установки солнечной электростанции в Тамбовской области. Для расчета объемов выработки электроэнергии необходимо знать такие параметры, как солнечная инсоляция [1] и продолжительность светового дня в области (табл. 1) [2].

1. Параметры для расчетов станции

	Средняя продолжительность светового дня, ч	Солнечная инсоляция, кВт·ч/м ²	Оптимальный угол наклона, °
Январь	10,610	1,84	68
Февраль	10,110	2,86	60
Март	11,850	3,99	48
Апрель	13,930	4,74	32
Май	15,730	5,88	18
Июнь	16,720	6,11	12
Июль	16,050	5,99	15
Август	15,130	5,29	27
Сентябрь	12,680	3,82	42
Октябрь	10,650	2,73	56
Ноябрь	9,005	1,93	66
Декабрь	8,000	1,58	71

Рентабельность использования солнечной энергии в Тамбовской области узнаем из расчета стоимости электростанции (рис. 1), а также вырабатываемой электроэнергии.

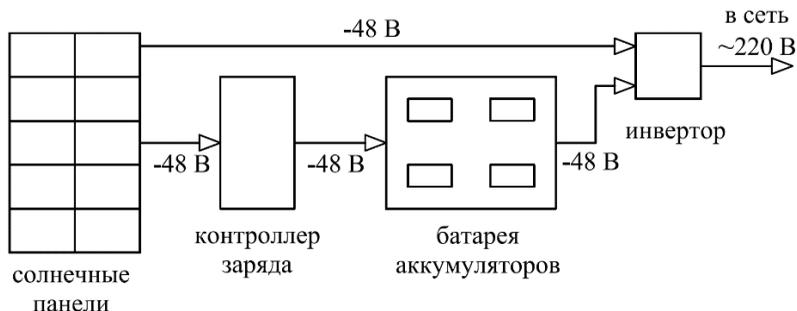


Рис. 1. Структурная схема солнечной электростанции

Для проектирования требуется оборудование, представленное в табл. 2.

Панели вырабатывают постоянный ток, который с помощью инвертора преобразуется в переменный напряжением 220 В и отдается в сеть. При избытке выработки энергии ток направляется на контроллер заряда, а после на батарею аккумуляторов. В дальнейшем накопленную энергию можно будет использовать, преобразовав ее инвертором.

2. Оборудование солнечной электростанции

Оборудование	Марка	Характеристики	Количество, шт.	Стоимость единицы, тыс. р.	Общая стоимость, тыс. р.
Солнечная панель [3]	CHN140-36P	12 В; 140 Вт	10	7,320	73,200
Контроллер заряда [4]	MPPT DOMINATOR 200/100	100 А; 48 В	1	49,900	49,900
Аккумулятор [5]	GEL 12-150	12 В; 150 Ah	4	24,044	96,176
Инвертор [6]	PS1800-48	48...220 В; 1,4 кВт	1	63,250	202,300
Итого					421,576

Выработка электроэнергии от одной солнечной панели определяется по формуле [7]

$$E = \frac{E_{\text{инс}} P_{\text{бат}}}{P_{\text{инс}} k}, \quad (1)$$

где $E_{\text{инс}}$ – солнечная инсоляция, кВт·ч/м²; $P_{\text{бат}}$ – номинальная мощность солнечной панели, Вт; $P_{\text{инс}}$ – мощность инсоляции, 1000 Вт/м²; k – коэффициент потерь заряда в инверторе.

3. Объем и стоимость выработанной электроэнергии

Месяц	Объем электроэнергии от 10 панелей, кВт·ч	Стоимость, р.
Январь	683,3	2733,2
Февраль	1012,0	4048,0
Март	1671,1	6684,4
Апрель	2311,0	9244,0
Май	3345,3	13 381,2
Июнь	3575,7	14 302,8
Июль	3477,1	13 908,4
Август	2894,8	11 579,2
Сентябрь	1695,3	6781,2
Октябрь	1051,5	4206,0
Ноябрь	608,3	2433,2
Декабрь	457,2	1828,8
Итого за год	22 782,6	91 130,4

На основании результатов из табл. 3, максимальная выработка электроэнергии достигается в июне, а минимальная – в декабре. Годовая выработка электроэнергии составляет 22,78 МВт·ч, что при среднерыночном тарифе на электроэнергию составляет 91,1 тыс. р.

Затраты на станцию составляют 421,6 тыс. р. Окупаемость такой станции составляет приблизительно 4 года 8 месяцев.

Таким образом, можно утверждать, что строительство солнечной электростанции в Тамбовской области оправдывает свои затраты за довольно короткие сроки.

Список источников

1. Значение солнечной инсоляции в г. Тамбове (Тамбовская область) [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.betaenergy.ru/insolation/tambov/> (дата обращения: 28.10.2019).
2. Восход и закат солнца [Электронный ресурс]. – URL : <https://pogoda.turtella.ru/Russia/Tambov/sun/> (дата обращения: 28.10.2019).
3. Поликристаллическая солнечная батарея 140 Вт, 12 В, производства China and Solar Energy [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.solnechnye.ru/batareya/solnechnaya-batareya-Chinaland-CHN140-36P-140W-12V.htm> (дата обращения: 10.11.2019).
4. Контроллер заряда ЕСО Энергия DOMINATOR MPPT 200/100, 100 А, 12/24/48/96 В, производства МикроАРТ [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.solnechnye.ru/controllery-zaryada/map-eco-dominator-MPPT-200-100A.htm> (дата обращения: 09.11.2019).
5. Аккумулятор 12 В 150 А·ч (Gel 12-150) [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.delta-battery.ru/catalog/delta-gel/delta-gel-12-150/> (дата обращения: 09.11.2019).
6. Инвертор синусоидальный 48/220 В, 1400 Вт, производства TBS Electronics [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.solnechnye.ru/inventory-220v/TBS-powersine-ps1800-48V-1400W-220V.htm> (дата обращения: 10.11.2019).
7. Расчет мощности солнечных батарей [Электронный ресурс]. – URL : https://b-eco.ru/articles/calc_power1/ (дата обращения: 10.11.2019).
8. Список Солнечных электростанций России [Электронный ресурс]. – URL : https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Список_солнечных_электростанций_России (дата обращения: 16.11.2019).
9. Солнечная Энергетика Европы: более 250 гигаватт к 2024 году [Электронный ресурс]. – URL : <https://reenen.ru/solar-energy-in-europe-more-than-250-gigawatts-by-2024/> (дата обращения: 17.11.2019).

Калинин В. Ф., Илиес Шауки
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА КАЧЕСТВЕННОЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СТРАНАХ АФРИКИ

Аннотация. Рассмотрен вопрос по использованию и развитию альтернативной энергетики в странах Африки как наиболее перспективной для производства по самым эффективным технологиям и доступным ценам. Дается краткая характеристика проблем развития альтернативной энергетики в странах Африки и пути повышения ее качественных показателей для потребителей.

Ключевые слова: энергетическая, возобновляемые источники энергии, источники энергии, гидравлический, качество электрической энергии, солнечная энергия, энергия ветра, геотермальная энергия.

Энергетический недостаток представляет собой серьезную проблему в странах Африки к югу от Сахары. Не смотря на многолетние усилия по решению проблемы обеспечения энергией в 2014 г. 633 млн человек не имели доступа к электричеству, а 792 млн человек полагались на традиционную биомассу в качестве основного источника энергии для приготовления пищи.

Возобновляемые источники энергии – это источники, которые не получены из ископаемого или ядерного топлива. К ним относятся биомасса, гидроэлектростанции, солнечная энергия, энергия ветра и геотермальная энергия. Они в изобилии, но неравномерно распределены на Африканском континенте. Большая часть их потенциала остается неиспользованной. Возобновляемые источники энергии, за исключением биоэнергии, в основном используются для производства электроэнергии, их доля в секторах производства, транспорта и тепла низкая. В 2017 году на гидроэлектростанции приходилось 15% от общей установленной мощности, в то время как на другие возобновляемые источники энергии приходилось почти 4%.

С 2000 года в Африке наблюдается быстрый экономический рост и улучшение социальных условий, при этом реальный ВВП в среднем составляет 3,6% в 2017 г., и ожидается, что в 2019 г. он вырастет примерно до 4%, согласно докладу Африканского банка развития за 2018 г.

Африка могла бы продолжать использовать известные механизмы финансирования производства углеводородного топлива для увеличения инвестиций в энергетику с целью доступа к источникам энергии

на всей ее территории. Но сегодня долю потенциала возобновляемой энергии уже можно оценить, например для геотермальной энергии – в 7000 МВт (пресс-релиз ЮНЕП, 2008). По оценкам Всемирного банка, технически, к югу от Сахары можно разместить более 3200 проектов альтернативной энергетики для производства 170 дополнительных гигаватт. Производственные затраты ниже, и существующая инфраструктура позволяет континенту использовать сразу новые технологии, обойдя старые.

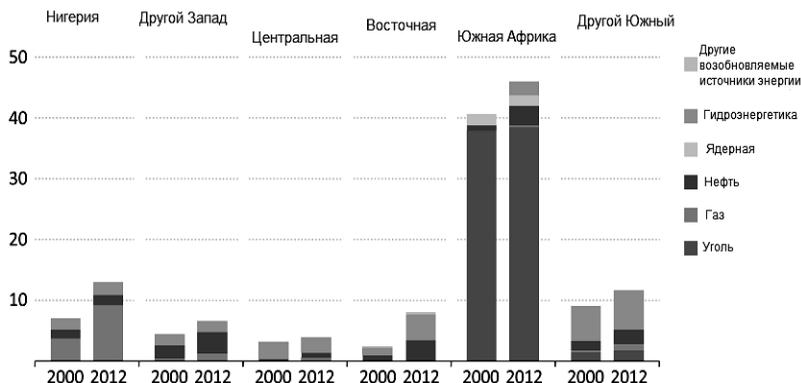


Рис. 1. Установленная пропускная способность энергетических сетей (ГВт) в странах Африки к югу от Сахары, 2000 и 2012 гг.

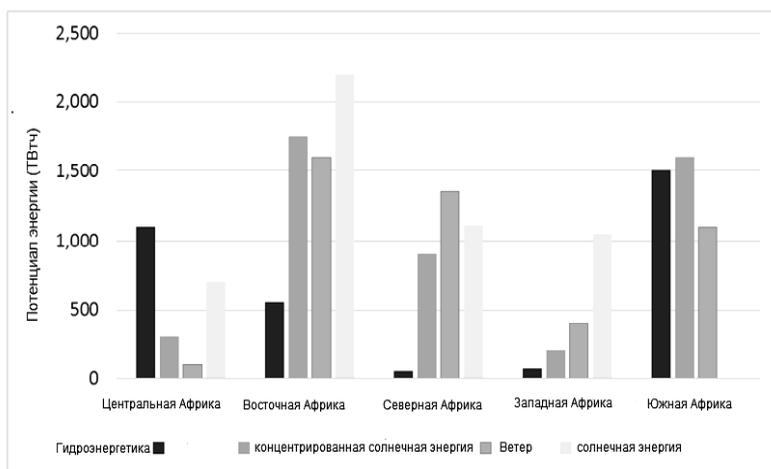


Рис. 2. Потенциал энергии (ТВт·ч) для возобновляемых источников энергии в Африке к югу от Сахары

Все страны региона имеют высокий солнечный потенциал, около 10 000 ГВт, а технический потенциал только для фотоэлектрических солнечных батарей на одну оценивается в 6500 Вт в год (Cartwright, 2015). Большинство прибрежных стран этого региона имеют устойчивый ветровой потенциал порядка 109 ГВт.

В Мире первым в этом рейтинге является Эфиопия, на долю которой приходится 93,90% электроэнергии, за которой следуют Исландия (89,07%), Замбия (88,86%), Мозамбик (87,63%), Танзания (85,62%), Непал (84,08%), Кения (82,84%), Того (82,31%), Нигерия (80,96%) и Парагвай (80,04%). В число 20 стран, входящих в первую группу, входят также Кот-д'Ивуар, Зимбабве, Камерун и Республика Конго.

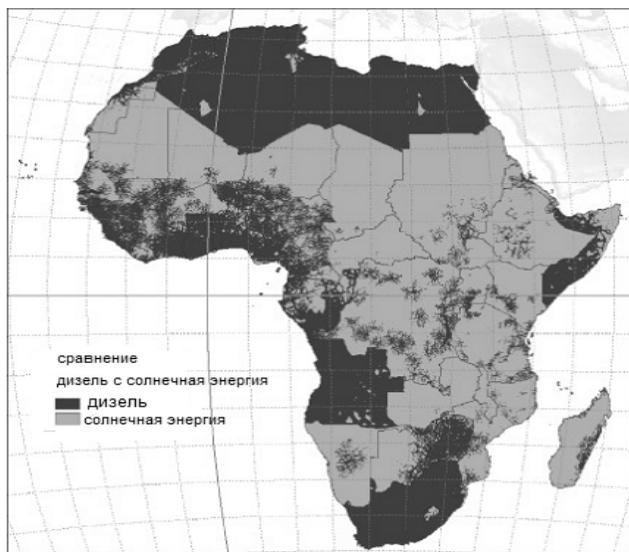


Рис. 3. Оптимальный вариант применения технологий с точки зрения затрат на электрификацию – дизельные электростанции и солнечные, фотоэлектрические установки

Тем не менее существующий огромный потенциал для развития возобновляемых источников энергии недостаточно эксплуатируется, всего приходится около 3% конечного энергопотребления. Гидростанции: общая установленная мощность которых 20,3 ГВт – производится 77 000 ГВт·ч при потенциале 4 000 000 ГВт·ч в год. Это менее 2% гидроэнергетического потенциала. В ДРК, Египте, Эфиопии, Мадагаскаре, Нигере, Замбии, Мозамбике, Гвинеи – эксплуатируется; геотермальная

энергия. Из потенциала 9000 МВт установлено всего 115 МВт – ветровая энергия, 29% мировых ресурсов приходится на прибрежную зону, где расположены: Джибути, Эфиопия, Эритрея, Уганда, Кения, Танзания. Почти 10 ГВт будет установлено к 2020 г. в Южной Африке, Алжире, Кабо-Верде, Джибути, Египете, Эритреи, Лесото, Мадагаскаре, Марокко, Мавритании, Сомали, Чаде, Тунисе. На 47% континента солнечное излучение составляет более 2100 кВт·ч/м², а остальная часть между 1500 и 1900 кВт·ч/м².

Таким образом, с помощью гидроэнергетики, например, в Египте (Асуанская плотина) и солнечной энергетики, как показывает проект «Desertec», при поддержке крупных мировых компаний можно обеспечить производство электроэнергии, эквивалентное 15% Европейского спроса. Плюс ветровая энергетика. Одним из препятствий на пути повышения качества электрической энергии за счет альтернативных источников энергии в африканских странах является то, что она пока достаточно затратная, а в африканских странах возобновляемые источники энергии еще не используются эффективно на местах, поскольку существуют другие источники, менее дорогие, такие как использование природного газа. Сегодня альтернативная энергия может широко использоваться в странах Северной Африки, таких как Марокко и Алжир. В Марокко расположена самая большая солнечная электростанция мира.

Список литературы и источников

1. James, M. The energy challenge in sub-Saharan Africa a guide for advocates and policy makers. – 2017. – P. 13.
2. Rim, B. Energies renouvelables en Afrique : Enjeux, défis et opportunités, POLICY PAPER. – Mai 2019. – P. 11.
3. Adnan, Z. A. Renewable Power Generation Costs. – 2017. – P. 4.
5. Jean, P. F. L'énergie en Afrique A l'horizon 2050, Agence Française de Développement et Banque Africaine de Développement, A Paris le № 10 décembre. – 2009. – P. 42.
6. Nkiruka, A., Juan P. C., Brittany S., Daniel M. K., Le défi énergétique en Afrique subsaharienne: Guide pour les défenseurs et les décideurs, OXFAM. – 2017. – P. 21.
7. URL : <https://www.jeuneafrique.com/432167/economie/africains-se-distinguent-parmi-pays-utilisant-plus-denergies-renouvelables-monde/>
8. L'Afrique et les énergies renouvelables, l'IRENA. – 2009. – P. 31.
9. Kerri, E., Dambudzo M., Karuna P., Stimuler le secteur de l'énergie en Afrique au moyen du financement carbone, № 12. – Novembre 2009. – P. 10.

**Кобелев А. В., Кочергин С. В., Крючкова Е. Н.,
Ахмед Рауф Абдельфаттах Абдельхафиз**
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН И КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация. Рассмотрена возможность применения блокчейн-технологий для повышения качества электрической энергии.

Ключевые слова: блокчейн, смарт-контракт, распределенная электроэнергетика, качество электрической энергии.

Президентский совет по модернизации экономики и инновационному развитию России утвердил дорожную карту EnergyNet. Документ предусматривает мероприятия по развитию рынка «умной» энергетики до 2035 г. и создан в рамках программы «Национальная технологическая инициатива», реализуемой по поручению президента Путина. EnergyNet предполагает развитие и продвижение услуг в сфере надежных и гибких распределительных сетей, распределенной энергетики (в том числе генерации), потребительских сервисов, включая сбыт и трейдинг [1].

Появление на свет подобных программ свидетельствует о вопросах, возникающих с развитием энергетической отрасли – износ энергетической инфраструктуры, вовлечение в оборот распределенных энергетических ресурсов (в том числе возобновляемых), рост спроса на энергию и изменение качественных характеристик спроса, изменение модели поведения потребителей.

Надежность и качество поставляемой электрической энергии – являются основными критериями оценки электроэнергетической системы. Электрическая энергия, являясь товаром, должна соответствовать требованиям ГОСТа. Для обеспечения этого требования необходима модернизация электроэнергетической отрасли, которая будет обладать гибкостью к меняющимся условиям и появлению новых технологий: альтернативная энергетика, электрический транспорт и пр. Развитие распределенной электроэнергетики позволит создать необходимые условия для повышения надежности электроснабжения и повысить качество электрической энергии, поставляемой потребителям. Концептуально современная распределенная электроэнергетика состоит из альтернативных источников, связанных в единую сеть, и управляется с помощью технологий Smart Grid.

Согласно сложившейся ситуации в большинстве стран большая часть электрической энергии производится и распределяется централизованно и лишь незначительная часть с помощью альтернативных источников. В 2016 году всего 10,4% [1] всей потребляемой энергии в мире было получено из возобновляемых источников. Ответ на этот вопрос с технической точки зрения кроется в эффективности подобных энергетических систем. Как пример [2], с этого года льготы для солнечных электростанций сокращаются или отменяются такими странами-лидерами, как Германия, Великобритания, Китай и Индия. Если вдаваться в подробности, то в той же Японии благодаря отмене льготных тарифов будет закрыто около 30% запланированных и уже одобренных «солнечных» проектов общей мощностью 56 ГВт. Все это уже стало серьезным потрясением для предприятий, занимающихся солнечной энергетикой.

Все вышесказанное свидетельствует, что в современном научном сообществе идет поиск модели развития электроэнергетической системы, обладающей надежностью, обеспечивающей высокие стандарты качества предоставляемого товара – электрической энергии в условиях быстро меняющегося мира. Естественно, что централизованное электроснабжение будет развиваться в сочетании с децентрализованными формами и в этом будет состоять гибкость электроэнергетических систем.

В технологическом мире, где появляется большое количество участников электроэнергетического рынка, необходимо совершенствовать законодательные процедуры по внедрению P2P (peer-to-peer, P2P – равный к равному) моделей финансового взаимодействия, построенных по принципу функционирования одноранговых моделей. Впервые фраза «peer-to-peer» была использована в 1984 г. при разработке архитектуры Advanced Peerto Peer Networking (APPN) фирмы IBM. Одной из технологий по реализации P2P-моделей является технология блокчейн, особенностями которой являются децентрализация и безопасность финансовых транзакций. Эта технология позволяет осуществлять взаимодействие между поставщиком и потребителем электрической энергии без посредников, при этом каждая транзакция видна всем пользователям, и вся система разработана таким образом, чтобы предотвратить мошенничество, что отвечает требованиям безопасного и прозрачного обмена товарами и услугами [2].

В законодательных нормах РФ предусмотрена возможность компенсации стоимости электрической энергии при снижении ее качества. Однако на практике это практически не осуществимо. Теоретически подобная модель может быть реализована в виде, проиллюстрированном на рис. 1.



Рис. 1. Модель заключения смарт-контракта на поставку электрической энергии

Технология заключения смарт-контракта на поставку электрической энергии заключается в следующих основных этапах и написана на блокчейн-платформе Ethereum.

1. Формирование договора поставки электрической энергии.
2. Оцифровка договора и размещение его на блокчейн-платформе.
3. Заключение смарт-контракта.

После того как заказчик электроэнергии сформировал заявку на поставку электрической энергии требуемого объема и мощности у поставщика, онлайн-заявка была преобразована в договор поставки электрической энергии. Далее договор размещается на блокчейн-платформе, которая представляет из себя распределенный реестр (децентрализованную систему), функционирующий на множестве компьютеров.

После заключения смарт-контракта происходит поставка электрической энергии, при этом программа отслеживает условия выполнения контракта: объем поставляемой электрической энергии и ее качество. После выполнения условий контракта происходит оплата заказчиком услуги. В случае, если качество электрической энергии не соответствует заявленному требованию в контракте, происходит перерасчет суммы контракта, т.е. корректировка стоимости поставляемой электрической энергии.

Необходимо отметить, что условия заключения прозрачны и могут контролироваться регулятором и другими надзорными органами. Таким образом, развитие распределенной электроэнергетики с возможностью реализации смарт-контрактов позволит повысить качество предоставляемой услуги – поставки электрической энергии потребителю.

Список источников

1. НТИ: «Умная» энергетика – это шанс для российских ИТ- и телеком-компаний [Электронный ресурс] // Хостинг-провайдер REG.RU. – М., 1995 – 2019. – URL : https://www.cnews.ru/articles/20170206_nti_umnaya_energetika_eto_shans_dlya_rossijskih_it_i_telekom_kompanij (дата обращения: 18.11.2019).

2. Может ли блокчейн изменить современную энергетику [Электронный ресурс] // Журнал ForkLog – информационный ресурс о криптовалютах, блокчейне и децентрализованных технологиях. – М., 2014 – 2019. – URL : <https://forklog.com/mozhet-li-blokchejn-izmenit-sovremennuyu-energetiku/> (дата обращения: 18.11.2019).

**Кобелев А. В., Молоканов А. А., Медведев С. А.,
Аль Хадези Ахмед Мохаммед Оваид**
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗ ДАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ОСЦИЛЛОГРАММАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Аннотация. Анализируются основные показатели качества электроэнергии. Затем на основе снятых осциллограмм с помощью специального программного обеспечения и численных методов формируется база данных.

Ключевые слова: показатели качества электроэнергии, численные методы, осциллограмма, база данных.

В настоящее время одной из важных задач в электроэнергетике является определение потерь с максимальной точностью. Особенно актуальна эта задача для бытовых компаний, компаний поставщиков энергии, потребителей, так как, обладая реальными данными о потерях, поставщики могут аргументировано подтверждать тарифы, а энергетики на предприятиях максимально точно прогнозировать потери мощности и затраты на электроэнергию.

Слабая оснащённость сетей системами мониторинга и неравномерная нагрузка фаз не даёт возможности достаточно качественного расчёта потерь с использованием существующих нормативных методов, так как существующие методы рассматривают общий случай, не предусматривая климатических, некоторых технологических и экономических факторов [2].

Для того чтобы точно определить потери электроэнергии, следует проанализировать показатели качества электроэнергии. Анализ электроэнергии в основном проводится по следующим группам показателей качества электроэнергии:

- 1) медленные изменения напряжения электропитания;
- 2) отклонение частоты;
- 3) колебание напряжения и фликер;
- 4) несимметрия напряжений в трехфазных системах;
- 5) несинусоидальность напряжения.

Контроль над качеством электрической энергии подразумевает оценку соответствия показателей установленным нормам.

Определение показателей качества электрической энергии – задача нетривиальная, так как большинство процессов, протекающих в электрических сетях, – быстропротекающие, все нормируемые показатели качества электрической энергии не могут быть измерены напрямую – их необходимо рассчитывать, а окончательное заключение можно дать только по статистически обработанным результатам.

Поэтому для определения показателей качества электрической энергии необходимо выполнить большой объем измерений с высокой скоростью и одновременной математической и статистической обработкой измеренных значений [1].

Для формирования баз данных показателей качества электроэнергии нами были сняты характеристики электроприемников (рис. 1) в виде осциллограмм.

Следующим шагом стало преобразование характеристики электроприемников из формата PNG в координаты графика. Преобразование выполнялось с помощью программы для оцифровки графиков GetData Graph Digitizer. Один из примеров получения координат по осциллограмме, полученных от электроприемника (роутера), представлен на рис. 2.

Очень часто в практической работе возникает необходимость найти в явном виде функциональную зависимость (формулу) $y = y(x)$ между величинами x и y , которые заданы отдельными парами значений x_i, y_i (таблицей), например полученными в результате измерений.

- wi-fi роутер.txt
- выпрямитель.txt
- зарядка.txt
- зарядник 12В.txt
- Компактная люминесцентная лампа.txt
- компьютер.txt
- котел просто.txt
- котел со стабилизатором.txt
- котел с гор. вода.txt
- микроволновка.txt
- мультиварка.txt
- ноутбук.txt
- пылесос.txt
- светодиодная лампа.txt
- системный блок.txt
- стабилизатор.txt
- телевизор.txt
- холодильник.txt

Рис. 1. Список электроприемников

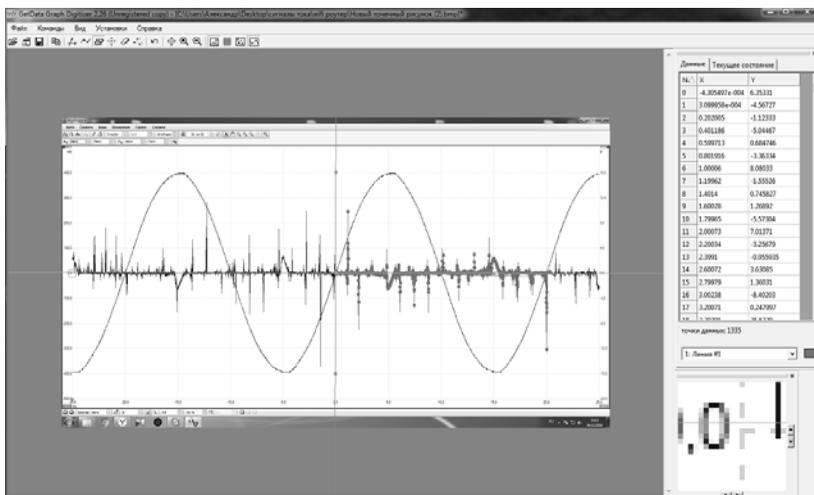


Рис. 2. Получение координат из осциллограммы роутера с помощью программы GetData Graph Digitizer

Для нахождения аналитической функции и решения задачи аппроксимации необходимо:

1. Задать общий вид аппроксимирующей функции, включающий неизвестные параметры или коэффициенты.

Вид функции задается исходя из формы распределения аппроксимируемых значений (расположения точек на графике), из предполагаемой функциональной зависимости или просто в виде полинома некоторой степени.

2. Определить значения параметров на основе заданного критерия близости.

Существует много методов интерполяции и сглаживания. Рассмотрим подробнее один из методов – сплайн-интерполяцию. Сплайн-интерполяция предполагает представление интерполирующей функции в виде комбинации разных функций, соответствующих отрезкам между соседними узлами. На функции-сплайны накладываются условия непрерывности, т.е. совпадения значений для соседних сплайнов в узле. Условие непрерывности может касаться как функции, так и ее производных, в зависимости от сложности сплайна. Из условий непрерывности определяются коэффициенты сплайнов, которые и задают интерполирующую функцию в целом. Простейший вид сплайн-интерполяции – ступенчатая интерполяция, функции-сплайны постоянны между узлами. Линейный сплайн непрерывен в узлах интерполя-

ции, первая производная имеет разрывы, вторая и высшие производные не существуют [4].

Для интерполяции графиков была использована программа CurveExpert (рис. 3). Были получены следующие результаты с помощью данного программного обеспечения.

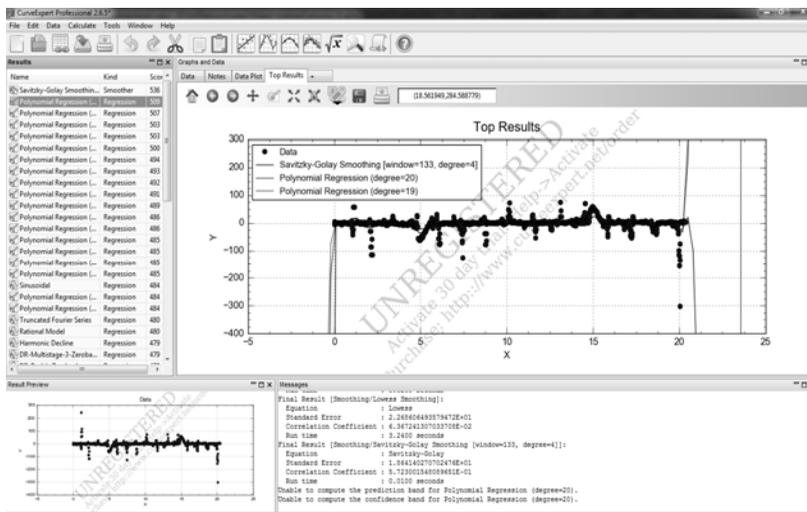


Рис. 3. Интерполяция осциллограммы роутера с помощью программы CurveExpert

Основной целью данной работы было получение базы данных показателей качества электроэнергии. Следующий этап работы заключается в написании и обучении нейронной сети на языке Python. Данная нейронная сеть будет обучена на полученном массиве. В дальнейшем ее можно будет использовать для прогнозирования аварий и аварийных ситуаций на объектах электроэнергетики.

Список литературы

1. Кочергин, С. В. Нейронные сети и фрактальное моделирование электроэнергетических систем / С. В. Кочергин, А. В. Кобелев, Н. А. Хребтов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов : Изд-во «ТГТУ», 2017. – Т. 23, № 4. – С. 609 – 616.
2. Михеев, М. Ю. Нейросетевая идентификация показателей качества электрической энергии / М. Ю. Михеев, А. Г. Дмитриенко, Т. В. Жашкова // НиКа. – 2009. – С. 144–145.

3. Судавный, А. С. Применение искусственных нейронных сетей в электроэнергетическом комплексе / А. С. Судавный // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. – Тула, 2012. – № 12-3. – С. 86 – 88.

4. Зяблов, Н. М. Метод обратного распространения ошибки в нейронных сетях для прогнозирования потребления электрической энергии / Н. М. Зяблов, О. В. Юрьев, С. В. Кочергин // Энергетика проблемы и перспективы развития : IV Всерос. молодеж. науч. конф. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – С. 101 – 103.

Кочергин С. В., Дронов В. В., Сгадов И. О.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

САМОРЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОДОГРЕВ ВОЗДУХА В ТЕПЛИЦАХ

Аннотация. Рассмотрены возможности применения саморегулируемых нагревателей для подогрева воздуха в теплице.

Ключевые слова: позистор, теплица, электрический нагрев, саморегулирование.

В настоящее время перед сельскохозяйственными товаропроизводителями стоят серьезные задачи – достигнуть к 2024 г. отметку в экспорте продукции АПК в 45 млрд долларов, что должно привести к росту компаний, использующих инновационные технологии.

Большая часть сельскохозяйственной продукции выращивается в теплицах. На сегодняшний день государство оказывает активную поддержку тепличному комплексу, поддерживая фермеров малого бизнеса субсидиями и дотациями. Вся продукция тепличного хозяйства пользуется большим спросом. Все это способствует созданию и развитию больших и малых тепличных хозяйств. В основе тепличного бизнеса лежат три направления выращивания культур – овощи, зелень, цветы. Для каждой отрасли существуют определенные теплицы. Специалисты утверждают, что прибыльный доход от бизнеса можно получить только в жарком климате. Причем температура зимой не должна опускаться ниже 5 градусов. Холодная и морозная зима – это большой риск, чтобы его минимизировать, придется вкладывать немалые средства в приобретение специальных материалов для зимних теплиц [1].

Для обеспечения требуемого микроклимата в руках агронома имеется климатический компьютер для регулирования влажности, температуры и дефицита влажности. Однако выставить все параметры этого компьютера не так просто. К сожалению, голландцы выставляют только средние значения. А чтобы разобраться самому в климатическом компьютере, нужно быть фанатом этого дела. Как правило, сейчас этого добиваются на климатических компьютерах «Привы» («Priva»). На компьютеры, которые очень сильно распространены, есть хоть какие-то рекомендации, чтобы сделать настройки и самому не думать. А на более сложные голландские компьютеры еще и рекомендаций нет, потому что, чтобы их написать, нужно годы потратить. Параметры микроклимата, которые можно контролировать, это: температура воздуха в теплице, температура растений, влажность [2].

Существуют также установки по контролю температуры, которые высчитывают ее среднесуточный показатель. Самым важным, кроме дефицита влажности, является контроль среднесуточных температур в теплице. В летнее время могут быть перегревы. Чтобы вести культуру в более жарких условиях, нужно стремиться снизить среднесуточную температуру, основываясь на данных от датчиков температуры [2].

Необходимо отметить, что при эксплуатации сложных электронных систем в условиях низких температур и высокой влажности возможны сбои работы оборудования микроклимата. Поэтому разработка простых и надежных систем подогрева в теплицах является актуальной научно-технической задачей.

Среди энергоресурсов, используемых для подогрева грунта и воздуха в теплицах, наиболее часто используют природный газ. Однако в настоящее время еще не вся территория России обеспечена покрытием газа. В то же время подключение к газовым сетям достаточно дорогостоящее мероприятие, требующее разработки проекта и монтажа специализированными бригадами.

Электрическая энергия – универсальный энергоресурс, который возможно произвести как с помощью автономных, так и с применением альтернативных источников энергии. Большой потенциал в сельском хозяйстве принадлежит биоэнергии, которая может использоваться для генерации электроэнергии.

Перспективным направлением для реализации системы электрического подогрева является использование позисторов – саморегулируемых нагревательных элементов. Эти элементы построены на базе полупроводниковой техники и способны к автоматическому поддержанию температуры без использования сложной и дорогостоящей автоматики.

Характеристика работы позистронных нагревательных элементов имеет следующий вид (рис. 1).



Рис. 1. Изменение мощности позисторного нагревателя

Особенность работы саморегулируемого нагревателя состоит в принципе работы его нагревательных элементов:

$$P_{n1} = \frac{nU^2}{A'' e^{\alpha t_{n1}}}; \quad P_{n2} = \frac{nU^2}{B'' e^{-B'/t_{n2}}},$$

где P_{n1}, P_{n2} – мощность саморегулируемого электронагревателя до температуры переключения позистора и после соответственно, Вт; n – количество позисторов в устройстве, шт.; U – напряжение питания устройства, В; A'' и B'' – коэффициенты, зависящие от физико-химических свойств полупроводникового материала позистора.

Таким образом, обоснование параметров саморегулируемого устройства подогрева воздуха является актуальной научно-технической задачей.

Список источников

1. Тепличное хозяйство: бизнес-план, инвестиции, рентабельность [Электронный ресурс]. – URL : <https://1teplica.com/stroitelstvo/teplichnoe-hozyaystvo-biznes-plan-investitsii-rentabelnost> (дата обращения: 02.12.2019).
2. Поддержание микроклимата в теплице. Типы современных теплиц [Электронный ресурс]. – URL : <http://ecoculture.biz/podderzhanie-mikro-klimata.-tipy-sovremennyh-teplic.html> (дата обращения: 02.12.2019).

Моторина Н. П., Стоцкий К. П., Кривошапов А. Ю.
Старооскольский технологический институт
(филиал) НИТУ МИСиС, г. Старый Оскол, Россия)

РАСШИРЕНИЕ ЦЕНТРА ПИТАНИЯ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Рассмотрено расширение центра питания подстанции 500 кВ. Выделены основания осуществления расширения и увеличения мощностей подстанции. Определены возможности после расширения.

Ключевые слова: питающий центр, подстанция, схемы включения, распределительные устройства, воздушные линии, выключатели, трансформаторные мощности.

В 2012 году предусматривалась комплексная реконструкция подстанции (ПС) «Старый Оскол 500 кВ» с изменением схемы и компоновки ПС в целях реализации возможности подключения новой воздушной линии (ВЛ) 500 кВ «Донская АЭС – Старый Оскол № 2»; организации возможности установки дополнительной трансформаторной мощности; модернизации основного и вспомогательного оборудования.

Анализ результатов расчетов электрических режимов зимних максимальных нагрузок выявил токовые перегрузки автотрансформаторов (АТ) 500/110 кВ ПС 500 кВ Старый Оскол в послеаварийных режимах (данные 2015 года) в схемах:

- в нормальной АТ-3 (4) 500/110 кВ – 37%; АТ-3 и АТ-4 500/110 кВ – 13%;
- в ремонтной АТ-3 (4) 500/110 кВ – 64%; АТ-3 и АТ-4 500/110 кВ – 78%.

Для их ликвидации рекомендуется увеличение трансформаторной мощности ПС, а именно установка дополнительно АТ-5 500/110 кВ на 250 МВА. Установка АТ-5 500/110 кВ позволит значительно сократить количество послеаварийных режимов, в которых возникают перегрузки приведенных выше автотрансформаторов.

Расширение подстанции 500 кВ Старый Оскол при подключении введенного на Стойленском ГОКе нового технологического присоединения также предусматривало установку дополнительного автотрансформатора на 250 МВА с подключением в полторную цепочку распределительного устройства (РУ), с установкой выключателя 500 кВ и подключением через два выключателя к третьей и шестой секциям шин РУ 110 кВ (установка выключателей 110 кВ).

Подстанция 500 кВ Старый Оскол расположена в Старооскольском городском округе Белгородской области, входит в состав

Центрально-Черноземного экономического района и Центрального Федерального округа РФ. Площадка подстанции расположена на восточной окраине села Незнамово, в четырех километрах от автодороги Новый Оскол – Горшечное. Она построена в 1976 г. с установленной мощностью 1001 МВА.

ПС 500 кВ Старый Оскол является одним из питающих центров северного энергорайона Белгородской области, где расположены крупные промышленные потребители – предприятия ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат», АО «Лебединский ГОК», АО «Стойленский ГОК», ОАО «КМАруда» и др. На подстанции все оборудование, аппараты, линии и вспомогательное оборудование вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены, предназначены для преобразования, распределения и отпуска электрической энергии потребителям Белгородской энергосистемы. На подстанции установлены две автотрансформаторные группы напряжением 500/330/35 кВ мощностью по 167 МВА каждый автотрансформатор и два трехфазных автотрансформатора мощностью по 250 МВА:

- АТ-1 и АТ-2 с автотрансформаторами АОДЦТН-3х167000/500/330/35;
- АТ-3 и АТ-4 с автотрансформаторами АДЦТН-250000/500/110/35.

Открытое распределительное устройство (ОРУ) 500 кВ было выполнено по схеме «Четырехугольник» с подключением АТ-1, АТ-2 и АТ-3, АТ-4 на шины 500 кВ через разъединители. ОРУ 330 кВ выполнено по схеме (рис. 1).

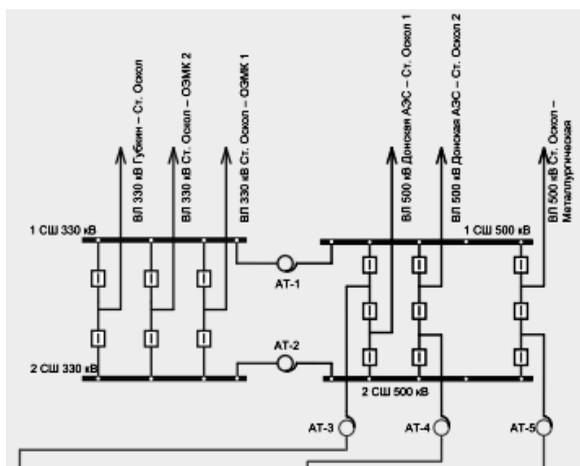


Рис. 1. Схема ОРУ 500 и 330 кВ подстанции после расширения

«Пятиугольник» с подключением АТ-1, АТ-2 на шины 330 кВ через разъединители. Разработанная схема на напряжении 330 кВ стала нетиповой, «Трансформатор-шины с присоединением одной линии через два выключателя и двух линий по полуторной схеме». ОРУ 110 кВ выполнено по схеме «Две рабочие секционированные секционными выключателями и обходная система шин с двумя шиносоединительными и двумя обходными выключателями» с подключением АТ-3, АТ-4 через выключатели. Для питания собственных нужд подстанции установлены трансформаторы 35/0,4 кВ мощностью по 630 кВА. Схема на напряжении 35 кВ нетиповая.

Существующие распределительные устройства 500, 330, 110 и 35 кВ выполнены в открытом исполнении и имеют типовые компоновочные решения. В ОРУ 500 и 330 кВ установлены воздушные выключатели марки ВВБ-500Б и ВВБ-330Б соответственно, в ОРУ 110 кВ установлены элегазовые выключатели типа HLR-145, в ОРУ 35 кВ – масляные выключатели типа МКП-35 с соленоидными приводами.

К ОРУ 500 кВ подстанции подключены две воздушные линии (ВЛ) электропередачи ВЛ 500 кВ: «Донская АЭС – Старый Оскол № 1»; «Старый Оскол – Металлургическая». К ОРУ 330 кВ присоединены три ВЛ 330 кВ: «Старый Оскол – ОЭМК № 1»; «Старый Оскол – ОЭМК № 2»; «Губкин – Старый Оскол». К ОРУ 110 кВ присоединены двадцать одна ВЛ 110 кВ на объекты: подстанции Старый Оскол, Губкин, Центральная, Пушкарная, Казацкие Бугры, Голофеевка, Архангельская, Обуховка, ГПП-7, Ремонтный завод, Цементный завод, Стойленский ГОК.

Для питания собственных нужд (СН) подстанции при расширении добавлены до шести число трансформаторов мощностью по 630 кВА каждый. Четыре трансформатора СН (ТСН-1,ТСН-2, ТСН-3, ТСН-4) подключены к обмоткам низшего напряжения (НН) АТ-1, АТ-2 и АТ-3, два трансформатора СН (ТСН-5,ТСН-6) подключены к ВЛ 35 кВ Старый Оскол № 1, Старый Оскол – 500 и предназначены для резервного питания собственных нужд. Учитывая характеристики современного силового оборудования, электроэнергетическими потерями при оценочных расчетах на ПС 500 кВ Старый Оскол можно пренебречь.

При реализации проектов по расширению ПС 500 кВ Старый Оскол и увеличению установленной мощности на 250 МВА (АТ-5), дополнительно установлено новое оборудование (выключатели В-5, В-6, В-7, В-8, В-110 АТ-5, В-110 Гринхаус, ВСШ-500 кВ, ВИСШ-500 кВ и их разъединителей) вновь построенных ВЛ-500 «Донская АЭС – Старый Оскол № 2» и КВЛ-110 «Старый Оскол – Гринхаус»; также построены два блочно-модульных здания, оборудованные микропроцессорными терминалами защит, щитами собственных нужд, щитами постоянного тока.

Количество условных единиц оборудования ПС возросло с 2045,4 до 2457,6 у.е. Соответственно увеличилась нагрузка на оперативный персонал в связи с ростом числа переключений и ежесменным обслуживанием оборудования и возросла ответственность, особенно, учитывая значимость объекта. Подстанция участвует в схеме выдачи мощности Нововоронежской атомной электростанции (АЭС), обеспечивает транзит мощности между Нововоронежской и Курской АЭС.

Петров В. В., Веремеев А. А.

Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Аннотация. Рассмотрен вопрос создания имитационной 3D-модели подстанции 110/10 кВ в целях повышения качества подготовки кадров электроэнергетического профиля.

Ключевые слова: 3D-моделирование, подстанция, интерактивное обучение.

Задачей любого виртуального тренажера является получение обучающимся пользователем необходимого опыта принятия определенных технологических решений имитационных ситуаций (рис. 1).

Планируется вывести ПО на уровень динамичного функционального изменения электрических и механических связей в зависимости от задаваемых действий тестирующегося оператора. Предполагается создание нескольких рабочих сценариев для обучения специалистов в данной области.

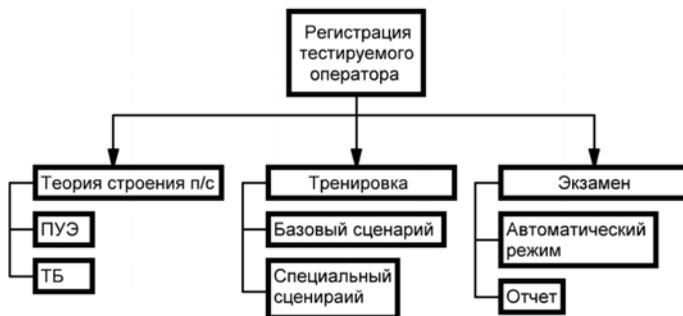


Рис. 1. Структура тренажера

Основные преимущества применения обучения на основе систем 3D-тренажеров. Такой метод обучения позволяет:

1) организовывать обучение в максимально реалистичных условиях виртуальной реальности, не подвергая риску здоровье ученика и дорогостоящее оборудование;

2) задействовать зрительную и мышечную память ученика;

3) добиться заинтересованности ученика процессом обучения;

4) оценить поведение рабочего в различных стрессовых ситуациях;

5) заинтересовать молодежь, привлечь новые перспективные кадры.

Сам тестовый проект содержит несколько составных блоков (рис. 2):

– электроснабженческий – электрическая схема подстанции на 110 кВ, с расположением на ней основного силового энергетического оборудования;

– трехмерная виртуальная среда – адаптированные и выполненные в 3D-модели;

– ремонтный – предполагает наличие цеха, в котором проводится ремонт электрооборудования;

– тестирующая система – математическая модель, действующая как по базовым сценариям, так в дальнейшем по специальным.

Последние два блока находятся на стадии первичной разработки.

В работе рассмотрена альфа-версия виртуального 3D-тренажера с использованием игровой специализированной платформы Unity 3D. Весьма удобный факт, что при использовании таких средств представляется возможность сбора учебной статистики и передачи ее в систему обучения, например с использованием TinCan API.

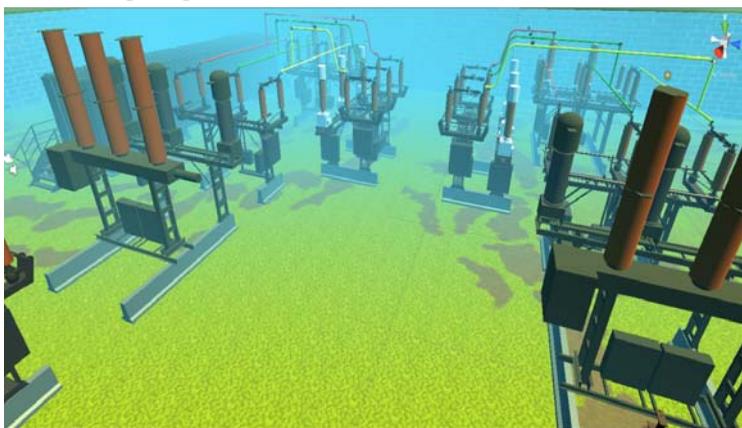


Рис. 2. Вид исследуемой подстанции 110 кВ альфа-версии виртуального 3D-тренажера

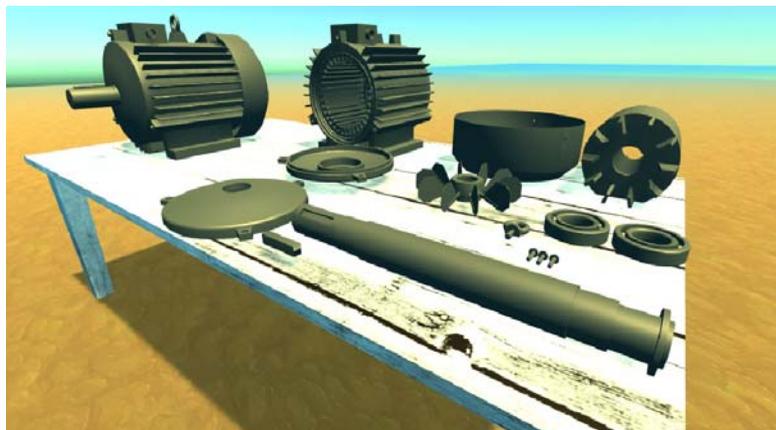


Рис. 3. Вид основного блока по сборке-разборке асинхронного двигателя ремонтного цеха

В результате путем создания 3D-модели подстанции 110 кВ была сформирована имитационная площадка для создания оперативных технических сценариев. Структура и ход выполнения заданий находятся в разработке, поскольку требуют больших трудозатрат, на данный момент тренажер выполняет функции ознакомления со структурой, составом оборудования и расположением технических узлов подстанции 110 кВ, реализован обучающий сценарий ремонтного цеха по сборке-разборке асинхронного двигателя (рис. 3).

Список литературы и источников

1. Смирнов, С. 3D-моделирование на взлете / С. Смирнов // Наука и жизнь. – 2012. – № 12. – С. 77.
2. Землянов, Г. С. 3D-моделирование / Г. С. Землянов, В. В. Ермаева // Молодой ученый. – 2015. – № 11. – С. 186 – 189.
3. Мищеряков, С. В. Проблемы, перспективы развития и оценка эффективности тренажерной подготовки / С. В. Мищеряков // Использование современных тренажеров для повышения уровня образования и практических навыков работников энергосистемы и студентов энергетических специальностей : тез. докл. науч.-прак. конф. – Минск, 2017.
4. Тренажер «Оперативные переключения в электроустановках» [Электронный ресурс] / Р. В. Гайсаров, П. А. Акулов, Е. В. Кондратьев, А. С. Латышев // Вестник ЮУрГУ. Сер. Энергетика. – 2005. – № 9(49). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/trenazhyor-operativnye-pereklyucheniya-v-elektroustanovkah> (дата обращения: 26.04.2019).

5. Федоров, К. А. Гибридная виртуальная реальность в обучении [Электронный ресурс] / К. А. Федоров, А. Л. Никоноров // Профессиональное образование и рынок труда. – 2016. – № 2. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnaya-virtualnaya-realnost-v-obuchenii> (дата обращения: 26.04.2019).

Пустовой Е. А., Пустовая О. А.
Дальневосточный государственный аграрный университет
(г. Благовещенск, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ АРХИВАЦИИ С РАЗМЕТКОЙ ДАННЫХ

Аннотация. Использование большого объема входящей информации в энергетической отрасли в виде отдельных баз данных не позволяет заниматься прогнозом состояния сетей как в ближайшем, так и в отдаленном будущем. Использование нового типа архиватора позволит выборочно работать с участком архива.

Ключевые слова: архиватор, программное обеспечение, naveol, входящая информация.

В современном мире предприятия энергетического комплекса все большее внимание уделяют информатизации производств. Это позволяет полнее просматривать множество экономических, организационных и производственных показателей, анализируя их как единое целое. Позволяет оптимизировать предприятие и развивать его в наиболее эффективных направлениях.

В процессе функционирования сетевых предприятий от различных устройств собирается огромное количество цифровых данных. Эти данные часто аппаратно и территориально разделены, хранятся на не связанных локальных носителях. Кроме того, программные продукты от разных производителей хранят данные в несовместимых друг с другом форматах. При этом службы часто сталкиваются со сложностью обобщения, хранения и анализа данных от старых и новых программных комплексов.

Современные тенденции сбора и обработки данных в энергетических предприятиях направлены на увеличение объема и разнообразие форматов данных. Уже широко используются системы: АРМ (анализ резервный мощности), IoT и M2M устройства, коммерческого учета – АСКУЭ, «цифровые подстанции», а также современные комплексы сбора, хранения и обработки данных с использованием элементов искусственного интеллекта, Smart Grid – являющихся интеллектуальным мониторингом сетей электроснабжения.

На этом пути существует проблема объединения данных со всех устройств сбора данных, всех разрозненных и различающихся актуальностью баз данных. Огромная часть сведений, полученных от всех устройств сбора данных на энергетических предприятиях, содержит экономически полезную информацию и часто должна быть проанализирована. Так, например, существует прямая связь между погодными условиями и потреблением электрической энергии, существует связь между информацией, содержащейся в аудиозаписи диспетчера, и скоростью устранения неисправности на линии. Существуют и другие не явно связанные данные, объединение которых и всесторонний анализ может дать значительный экономический эффект.

На сегодняшний день широко применяется мониторинг качества электрической энергии на стороне потребителя, мониторинг динамики потребления электрической энергии потребителям. Расширяется возможность учета степени износа электрического оборудования и ЛЭП. Возникает возможность корреляции и качества электрической энергии со стороны поставщика, потребителя и убытками, возникающими по их вине. Установление причин аварий на основе огромного массива данных не менее важно, чем устранение самой аварии.

Интеллектуальные системы при анализе данных увеличивают ценность информации, расширяют границы понимания производственных процессов.

Для всех этих важных данных необходима оптимальная система их хранения. Нами разработан и запатентован в европейском патентном агентстве метод сжатия данных без потерь с коммерческим названием NaVeOl®. В отличие от имеющихся систем сжатия данных: winrar, zip, pack и другие, метод осуществляет упаковку данных с возможностью одновременной их разметки. Особенность метода сжатия в том, что алгоритм адаптирует словарь под структуру данных путем предварительного их анализа и одновременно размечает данные. Дополнение архива разметкой данных позволяет расширить его функции и осуществить быстрый просмотр и выборку отдельных фрагментов.

Это позволяет оперировать не только данными после разархивации, но и определять интересующий нас фрагмент по разметке нераспакованного архива без необходимости распаковки, что на 1–2 порядка повышает скорость анализа данных.

Метод может работать самостоятельно или в дополнение к существующим методам сжатия данных. Может также применяться как самостоятельная система защиты данных при хранении и передаче информации.

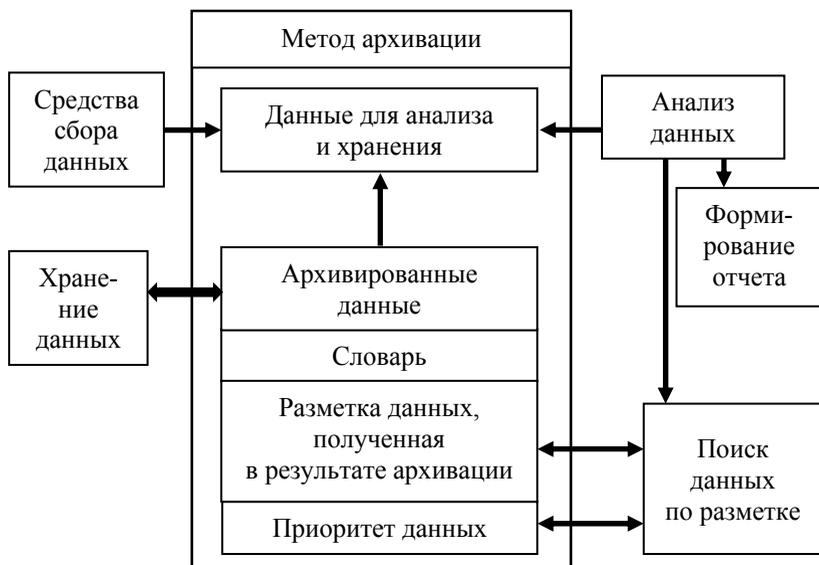


Рис. 1. Применение специализированного метода архивации в системе сбора, анализа и хранения данных на энергетическом предприятии

Специализация систем хранения данных для энергоснабжающих организаций – это неисследованное направление в развитии информационных систем.

Применение методов сжатия данных с разметкой позволяет выделить в данных наиболее важную информацию, что в свою очередь ускорит выборку фрагмента данных.

В случае если объем поступающих данных на порядки превышает возможности архивного хранилища, размеченные данные будут нести информацию о приоритете при размещении их на долгосрочное хранение.

Список литературы

1. Сравнительный анализ архиваторов / Д. Л. Петрянин, А. Ю. Меркульев, В. А. Трусов и др. // Современные информационные технологии. – 2014. – № 19. – С. 42 – 46.

2. Пат. № GB1915851.8 (820063-GB-U/kdZHVALIK: OCTROOI-T71.922) Европейское патентное агентство, Adaptive method for data compression / Zhvalik A. A., Pustovoy E. A., Shleiko O. N., Sviryzdenka R. G. ; заявл. 31 октября 2019 г.

Пустовой Е. А., Копылов Е. В.
Дальневосточный государственный аграрный университет
(г. Благовещенск, Россия)

СИСТЕМА ОПЦИОНАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Позиционирование элементов линий электропередачи в настоящее время – одна из проблем, решение которой позволит выполнить динамическую базу данных для их контроля и обслуживания.

Ключевые слова: объект, опциональные, радиопеленгационный метод, скетч, передатчик.

Нахождение и контроль объектов без привязки к GPS и ГЛОНАСС является одной из важных задач при использовании современных цифровых технологий в энергетике. Для большой протяженности линий электропередачи как кабельных, так и воздушных на территории РФ осуществляют контроль за их состоянием задачей, для решения которой одним из ключевых факторов необходимо считать точное позиционирование линий на местности с привязкой положения каждого элемента линии к всемирным или относительным координатам. Использование современных систем навигации существенно упрощает процесс позиционирования, однако вносит и ряд проблем, в частности это стоимость работ по позиционированию линий, стоимость дополнительного оборудования и т.д. Нами для позиционирования предлагается использовать систему относительных координат, точкой отсчета в которой можно выбрать один из объектов энергообеспечивающего предприятия. Основной целью нашей работы можно считать разработку программного комплекса, позволяющего в динамическом режиме отслеживать состояние линий электропередачи с глубиной архивации данных 5 лет. Для разработки требуется решить вопрос с позиционированием ЛЭП.

Решение этой задачи возможно с помощью RFID-модуля с подачей кратковременного импульсного сигнала, зашифрованного определенным индивидуальным кодом или с помощью радиометки, размещенной на опорах линии. Рассмотрим основные методы определения ориентации объектов по сигналам, их достоинства и недостатки. Выделяют несколько основных методов определения ориентации объекта в пространстве (табл. 1).

1. Методы ориентации объекта

Метод	Достоинства	Недостатки
Радиопеленгационный	Реальный масштаб времени, точность 0,01...0,10	Громоздкость и сложность аппаратуры, большие габариты приемных антенн
Измерением отношения сигнал/шум	Простота обработки информации; простая дешевая приемная аппаратура	Точность 3...10
На основе фазовых интерферометрических измерений	Точность 0,01...0,10	Необходимость решения задачи неоднозначности фазовых измерений (что приводит к определению параметров ориентации не в реальном масштабе времени); специальная дорогая приемная аппаратура; сложность использования на высокодинамических объектах; требуются высокие затраты машинных ресурсов
Измерениями векторов линейных скоростей нескольких антенн, расположенных на объекте	Простая приемная аппаратура; возможность определения как углового положения объекта, так и угловых скоростей ПО	Сложность математической обработки информации; требуются высокие затраты машинных ресурсов; определение параметров ориентации происходит не в реальном масштабе времени
Использованием доплеровского эффекта (частотный)	Возможность применения на высокодинамических объектах, возможность определения как углового положения объекта, так и угловых скоростей ПО	Специальная дорогая приемная аппаратура; сложность математической обработки информации; требуются высокие затраты машинных ресурсов

В нашем случае будет использоваться радиопеленгационный метод. Радиопеленгация предполагает использование антенной системы с очень узкой, в общем случае веретенообразной, диаграммой направленности, установление слежения по направлению за источником радиосигнала, размещенным на приемнике, и измерение углов между осью антенны и осями объекта. Антенна должна представлять собой параболоид или антенную решетку, обеспечивающие диаграмму направленности шириной в единицы градусов, чтобы измерять углы с погрешностями порядка единиц минут. Антенны с приемлемыми геометрическими размерами (диаметр раскрыва от метра до нескольких десятков сантиметров) могут работать в диапазоне 10...15 ГГц. Недостатки этого метода в проекте системы опционального определения объектов (COOO) не имеют ценности, так как они описаны для спутниковых систем, а передатчик/приемник, используемый в проекте, работает на расстоянии около 2 км, что существенно снижает их влияние.

COOO базируется на сопряжении нескольких модулей Arduino по радиоканалу ISM-диапазона, используя радио-модуль nRF24L01+, на расстоянии до 1 км. Если использовать радио-модули NRF24L01 + PA + LNA, то расстояние между Arduino можно увеличить до 2 км, не меняя код скетча. Рассмотрим преимущества и недостатки использования данного модуля.

Преимущества: отсутствие соединительных проводов между модулями Arduino; высокая скорость передачи данных, до 2 Мб/с, выше, чем у шин I2C и UART; полудуплексная связь; высокая помехозащищенность; контроль доставки данных; возможность выбора одного из 128 каналов связи; возможность одновременной работы до 6 передатчиков на одном канале.

Недостатки: модули nRF24L01+ работают в радиочастотном диапазоне ISM (Industrial, Scientific, Medical) 2,4 ГГц; при выборе скорости 2 Мб/с задействуются сразу два канала (выбранный и следующий за ним); модули питаются от напряжения 3,3 В постоянного тока.

Скетчи обоих передатчиков идентичны, за исключением значения идентификатора трубы, которое должно быть уникальным для каждого передатчика, работающего на одном канале. Благодаря работе на одном канале данные модули имеют возможность передавать информацию друг другу, тем самым как бы «общаясь» друг с другом. Именно данная функция позволит приемнику получать полные координаты обо всех объектах, на которых установлен передатчик, тем самым строя графическую карту без привязки к спутникам (рис. 1).

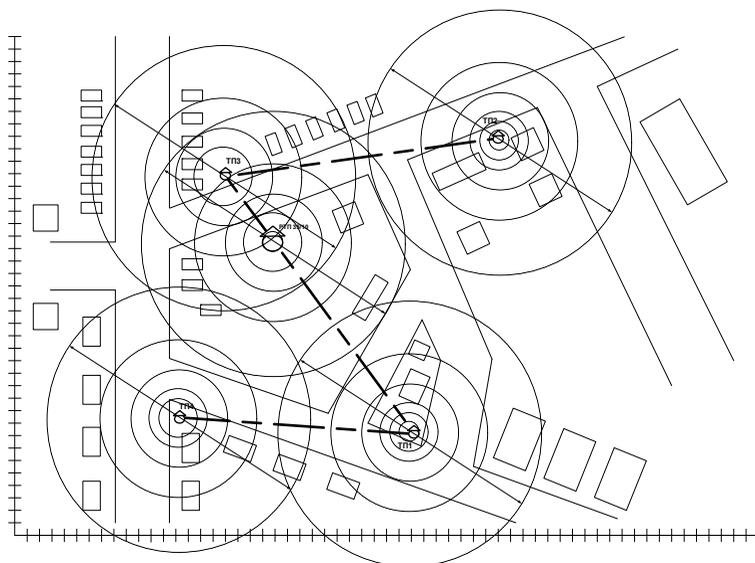


Рис. 1. Схема работы СООО

Опциональность данной системы достигается благодаря тому, что Arduino является аппаратной частью данного проекта и может использоваться для управления объектами автоматики, в перспективе планируется установка тензометрических датчиков, пирометрических датчиков и др., что позволит контролировать не только состояние ЛЭП, но и окружающую обстановку.

Список литературы

1. Пороховцев, А. В. Методы определения параметров ориентации спутниковых навигационных систем / А. В. Прохорцев // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. – 2013. – Вып. 1. – С. 258 – 268.
2. Болдин, В. А. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / В. А. Болдин. – 2-е изд. – М. : – ИПРЖР, 1999. – 400 с.
3. Степанов, О. А. Исследование методов решения задачи ориентации с использованием спутниковых систем / О. А. Степанов, Д. А. Кошаев // Гирокоспия и навигация. – 1999. – № 2. – С. 30 – 55.
4. Глобальная навигационная система NAVSTAR / И. Н. Мищенко и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1980. – № 8. – С. 52 – 83.

Сукачев А. И., Мишустин И. С., Сукачева Е. А., Худяков Ю. В.
Воронежский государственный технический университет
(г. Воронеж, Россия)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

Аннотация. Рассмотрена типовая схема устройства беспроводной передачи энергии и механизм расчета по магнитно-связанных катушек.

Ключевые слова: Wireless USB, IoT, беспроводной интерфейс подключения, беспроводная передача данных, твердотельный флеш-накопитель.

В современном мире все шире внедряют технологию беспроводной передачи энергии. Наибольшее применение данная технология получила в устройствах зарядки мобильных устройств, таких как смартфоны, «умные» и др. Главным недостатком технологии является зависимость потери энергии от расстояния между передатчиком и приемником. Существует два варианта решения данной проблемы: уменьшение расстояния между передатчиком и приемником; увеличение мощности передающего устройства. Следует также отметить достоинство технологии в том, что нет необходимости использовать непосредственный контакт приемника и передатчика для зарядки устройства. Рассмотрим пример проектирования беспроводного устройства передачи и хранения информации. Следует подчеркнуть, что идея использования беспроводной передачи информации не нова. В данный момент на рынке присутствуют коммерческие решения в данной области, такие как SanDisk Connect Wireless Flash Drive и Toshiba Canvio AeroMobile. Данные устройства работают от встроенного аккумуляторного элемента, и согласно технической документации время работы устройств 4,5 и 8 часов соответственно. Отличительной особенностью разработки является создание устройства без использования аккумуляторных элементов.

На рисунке 1 приведена структурная схема разработанного устройства. Разработанное устройство состоит из двух компонент: беспроводной флеш-накопитель и док-станция. При непосредственной близости флеш-накопителя и док-станции происходит установка связи между устройствами посредством телекоммуникационного блока (ТКБ), док-станция осуществляет питание флеш-накопителя посредством стандарта Qi. В результате пользователь получает доступ ко всем данным, хранящимся на флеш-накопителе, и возможность работы с ними.

Следует отметить, что питание беспроводного флеш-накопителя осуществляется по принципу магнитно-связанных катушек. Основным параметром, который следует учитывать при разработке док-станции и беспроводного флеш-накопителя является коэффициент связи катушек. Рассмотрим типовой алгоритм расчета коэффициента связи.

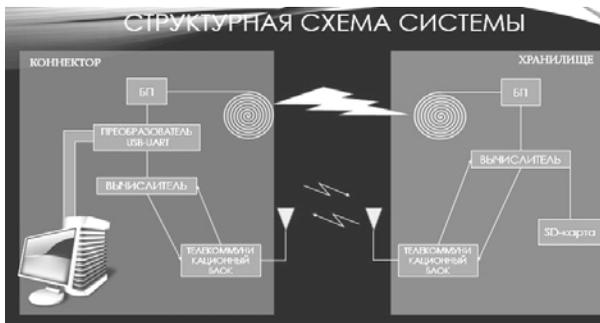


Рис. 1. Структурная схема устройства

Основываясь на законе Био–Савара–Лапласа, рассмотрим магнитное поле одиночного витка с током в любой точке пространства (рис. 2).

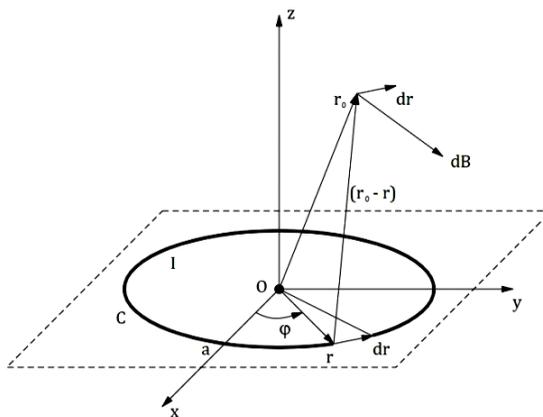


Рис. 2. Одиночный виток с током

Элементарный вклад в магнитное поле элемента контура с током $d\vec{r}$ вычисляется следующим образом:

$$d\vec{B}(\vec{r}_0) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{[d\vec{r} \times (\vec{r}_0 - \vec{r})]}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|^3}.$$

Для нахождения результирующего магнитного поля необходимо проинтегрировать по всему контуру витка, для аксиальной и радиальной составляющих компонент магнитного поля получим следующие выражения:

$$B_z(\rho, z) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{(a^2 - \rho a \cos \varphi) d\varphi}{(\rho^2 + a^2 + z^2 - 2\rho a \cos \varphi)^{3/2}},$$

$$B_r(\rho, z) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{azd\varphi}{(\rho^2 + a^2 + z^2 - 2\rho a \cos \varphi)^{3/2}}.$$

Далее по Пифагору можно найти абсолютное значение магнитного поля.

Рассмотрим две магнитно-связанные катушки (рис. 3) радиусом a_1 с n_1 витками и a_2 с n_2 витками, диаметр сечения проводов $d = 0,2$ мм.

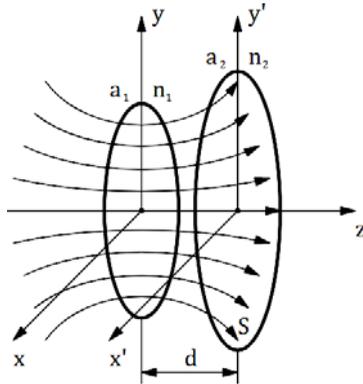


Рис. 3. Магнитно-связанные катушки

Коэффициентом связи катушек k

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}},$$

где M – взаимная индуктивность катушек; L_1 и L_2 – индуктивность 1 и 2 катушек соответственно.

Расчет собственных индуктивностей катушек осуществляется по следующим выражениям:

$$L_1 = \frac{1}{2} n_1^2 \mu_0 \int_0^{a_1 - \delta} \int_0^{2\pi} \frac{(a_1^2 - \rho a_1 \cos \varphi) d\varphi}{(\rho^2 + a_1^2 - 2\rho a_1 \cos \varphi)^{3/2}} \rho d\rho,$$

$$L_2 = \frac{1}{2} n_2^2 \mu_0 \int_0^{a_2 - \delta} \int_0^{2\pi} \frac{(a_2^2 - \rho a_2 \cos \varphi) d\varphi}{(\rho^2 + a_2^2 - 2\rho a_2 \cos \varphi)^{3/2}} \rho d\rho.$$

Учтем, что плоскости витков катушек сориентированы параллельно, центры катушек лежат на одной оси на расстоянии d . Тогда взаимная индукция катушек рассчитывается выражением

$$M_{12} = \frac{1}{2} n_1 n_2 \mu_0 \int_0^{a_2 - \delta} \int_0^{2\pi} \frac{(a_1^2 - \rho a_1 \cos \varphi) d\varphi}{(\rho^2 + a_1^2 + d^2 - 2\rho a_1 \cos \varphi)^{3/2}} \rho d\rho.$$

Зная это, можно рассчитать коэффициент связи катушек k . На расстоянии в 1 мм коэффициент связи меньше 100%. На расстоянии порядка 60...250 мм коэффициент связи изменяется от 10...1%.

Список литературы

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – 9-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1996. – 638 с.
2. Сукачев, А. И. Разработка аппаратно-программной платформы интернета вещей / А. И. Сукачев, И. В. Миллер, Е. А. Сукачева / Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : Четвертая Всерос. молодежная науч. конф., посвященная дню радио. – 2019. – С. 210 – 212.

Уваров С. А., Калинин В. Ф., Аль Хадези Ахмед Мохаммед Оваид
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОТ ВНЕДРЕНИЯ РЕКЛОУЗЕРОВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧАСТКА СЕТИ

Аннотация. Рассмотрена установка реклоузеров в распределенной автоматизации для повышения надежности электроснабжения потребителей.

Ключевые слова: электроэнергетика, надежность, системы электроснабжения, реклоузер, линия электропередачи.

Применение реклоузеров в распределительных сетях позволяет значительно повысить надежность электроснабжения потребителей и электроприемников, автоматизировать процессы поиска и локализации повреждений на линии, уменьшить затраты на обслуживание электрической сети, оптимизировать работу диспетчерского и оперативного персонала, повысить технический уровень эксплуатации электрических сетей и в конечном счете создать управляемые и автоматизированные распределительные сети нового поколения.

При установке реклоузеров в целях повышения надежности электроснабжения всех потребителей (минимизация показателей надежности электроснабжения сети) основным критерием к выбору мест уста-

новки реклоузеров является делениях линии на отдельные участки путем установки реклоузеров. Критерием оптимизации выбора мест установки реклоузеров в сети в целях повышения надежности электропитания потребителей является приведение к требуемым значениям перечисленных ниже показателей надежности после проведения мероприятий по комплексной автоматизации электрической сети.

SAIDI – индекс средней продолжительности перерывов электропитания (ч/год), характеризует общую среднюю ежегодную продолжительность отказов.

SAIFI – индекс средней частоты повреждений линий (откл/год). Индекс SAIFI показывает, как часто средний потребитель испытывает устойчивое прерывание (отказ) работы системы в течение года. Минимальное значение показателя SAIFI достигается при равномерном распределении реклоузеров по трассе линии. Это означает, что при выборе мест установки необходимо стремиться, чтобы выполнялось примерное равенство

$$N_i L_i \approx \text{const},$$

где N_i – количество потребителей, подключенных к участку i ; L_i – суммарная протяженность линии с отпайками на участке i .

При выборе мест установки необходимо учитывать, что для всего фидера равенство получить не всегда возможно, так как точки подключения потребителей распределены неравномерно. При установке реклоузеров в целях повышения надежности электропитания потребителей и оптимизации показателей надежности электрической сети основным критерием выбора мест их установки является наиболее рациональное секционирование линии, т.е. деление ее на участки, соединенные между собой реклоузерами.

Согласно методике к выбору мест установки реклоузеров [1] был проведен анализ сети ф.1 ПС «Столовая» – ф.3 ПС «Малоталинская» с расчетом показателей надежности электропитания и выбора мест установки реклоузеров.

Около 80% повреждений в воздушных распределительных сетях по своей природе являются неустойчивыми, поэтому целесообразно применять АПВ. Статистика показывает, что успешность первого цикла АПВ сокращает общее количество отключений на 60%, второго – дополнительно на 20%.

Децентрализованная система секционирования сети с применением реклоузеров РВА/TEL предполагает как минимум однократное АПВ. Чаще всего на реклоузерах рекомендуется использовать двухкратное и реже трехкратное АПВ. В зависимости от наличия или отсутствия АПВ в сети, где планируется установка реклоузеров, применение децентрализованной автоматизации с многократным АПВ линии

позволяет сократить количество отключений в среднем на 20% при использовании двукратного АПВ и на 25% – при трехкратном АПВ.

При оценке показателей надежности считаем, что на реклоузерах будет установлено двукратное АПВ. В ходе анализа оценивались показатели надежности до реконструкции сети и после.

Показатели надежности для всех вариантов (до и после реконструкции) рассчитывались в программном комплексе TELARM, разработки «Гаврида Электрик». По предоставленным исходным данным прорисовывалась математическая модель сети и рассчитывались необходимые данные.

Для достижения более высоких значений показателей надежности необходимо обеспечить двукратное АПВ на выключателях отходящих линий рассматриваемых фидеров, что реализуемо при замене на ф.1 ПС «Столовская» масляного выключателя ВК-10-630-20 на вакуумный, электромеханических устройств РЗА на МПЗ.

Значения показателей надежности в зависимости от варианта сведены в табл. 1. Повышение показателей надежности сравнивается с показателями надежности в базовом варианте (до реконструкции).

1. Сравнение показателей надежности

Наименование параметра	Автоматизация сети	ф.1 ПС «Столовская»	ф.3 ПС «Малоталинская»	Объединенный фидер
Индекс среднего количества отключений в сети SAIFI, откл./год	До реконструкции	2	1,33	1,665
	После реконструкции	0,68	0,65	0,665
Индекс средней продолжительности отключений в сети SAIDI, ч/год	До реконструкции	2,53	2,83	2,68
	После реконструкции	1,18	1,38	1,28

После проведения мероприятий по комплексной автоматизации данной сети путем установки реклоузеров показатели надежности улучшатся следующим образом: индекс среднего количества отключений сократится на 66% для ф.1 ПС «Столовская» и на 51% – для ф.3 ПС «Малоталинская», индекс средней продолжительности отключений станет меньше на 53% для ф.1 ПС «Столовская» и 51% – для ф.3 ПС «Малоталинская».

Таким образом, применение реклоузеров для распределенной автоматизации воздушных линий на ф.1 ПС «Столовская» и на ф.2 ПС «Малоталинская» существенно сказывается на повышении показателей надежности для данного участка сети.

Список литературы и источников

1. Таврида Электрик «Рекомендации по местам установки вакуумных реклоузеров» [Электронный ресурс]. – URL : tavrida-ua.com/documents/download_document/21_vakuumnyu_reklouzer_rvatel-10-125630_u1.html (дата обращения: 26.09.2019).
2. Зарандия, Ж. А. Методы решения оптимизационных задач электроснабжения / Ж. А. Зарандия, Е. А. Иванов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – С. 312–313.
3. Лукашина, Е. Р. Надежности систем гарантированного электроснабжения / Е. Р. Лукашина, Ж. А. Зарандия // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – С. 256 – 258.

Чернышов В. А.¹, Гладков О. Б.²

¹Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
(г. Орел, Россия),

²Орловский государственный аграрный университет
им. Н. В. Парахина (г. Орел, Россия)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОТВОДА ПРОЕКТИРУЕМОЙ СВЕТОДИОДНОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ БАЗЫ

Аннотация. Обоснована необходимость разработки новых технологий для проведения теплотехнических испытаний для вновь проектируемых конструкций тепловода и корпусов светодиодной аппаратуры с использованием современного лабораторно-испытательного оборудования. Обоснована целесообразность использования микропроцессорного контроля теплотехнических параметров светодиодной осветительной аппаратуры и рассмотрен принцип его функционирования.

Ключевые слова: светодиодный светильник, перегрев, теплоотвод, термоменеджмент, микропроцессорный контроль.

Превосходные светотехнические характеристики светодиодов сделали их производство самой динамично развивающейся отраслью светотехники. Продолжительность срока службы светодиода зависит

не только от качества его изготовления, но и определяется условиями его работы, зависящими в том числе и от конструкции корпуса осветительного прибора. Применение современных электротехнических материалов, а также правильно спроектированные драйвер и система теплоотведения позволяют довести срок службы светодиода до максимального значения, заявленного производителем. Обеспечение температуры светодиода в заданном диапазоне за счет отвода тепла в светотехнической отрасли принято называть термоменеджментом, в сферу ведения которого входят вопросы, связанные с совершенствованием конструкций охлаждения и массогабаритных параметров конструкции корпуса.

Абсолютная герметичность корпуса светодиодного светильника позволяет использовать его в запыленных помещениях с повышенным уровнем влажности, однако она зачастую ограничивает свободную конвекцию воздуха внутри корпуса светильника, что способствует перегреву светодиодных источников света, что существенно сказывается на сроке их службы.

И хотя производители светодиодных осветительных приборов стараются активно применять теплоотводящие радиаторы, это не позволяет полностью гарантировать защиту светодиодному источнику света от перегрева и преждевременного выхода их из строя [1].

На основании вышеизложенного одной из главных проблем современной светодиодной светотехники является снижение рабочего ресурса светодиодной аппаратуры вследствие ее перегрева, обусловленного несовершенством конструкций теплоотвода и корпуса.

Наличие на рынке большого разнообразия светодиодных светильников, характеризующихся низкой надежностью, говорит о том, что обозначенная проблема термоменеджмента на сегодняшний день не решена, что требует разработки нового оборудования для проведения комплекса теплотехнических испытаний для вновь проектируемых конструкций теплоотвода и внешних оболочек светодиодных источников света.

Разрабатываемое лабораторно-испытательное оборудование должно обеспечивать следующие функции: оценку эффективности теплоотводящей способности радиаторов; оценку влияния теплопроводящей способности и массогабаритных параметров корпуса на условия охлаждения светодиодных источников света [2]. Для реализации указанных функций схемотехникой лабораторно-испытательного оборудования должно обеспечиваться: плавное изменение тепловой мощности, выделяемой на термонагруженном компоненте; непрерывный контроль температуры в разных точках теплоотвода термонагруженного компонента; точное отображение результатов измерений температуры в любой точке теплоотвода в реальном масштабе времени; плавное изменение производительности воздухообдува при охлаждении радиа-

торов и вентиляции корпуса. Кроме того, схемотехника лабораторно-испытательного оборудования должна обеспечивать автоматизацию сбора, учета и обработки исходных и измеренных данных, а также их графическую интерпретацию, что обуславливает необходимость его аппаратной и программной совместимости с персональным компьютером.

Авторами данной публикации предлагается реализовать вышеизложенные алгоритмы функционирования на базе универсального микропроцессора ArduinoNano 328, на основании технических возможностей которого и была разработана принципиальная электрическая схема лабораторно-испытательного оборудования для исследования тепловых режимов работы светодиодной осветительной аппаратуры (рис. 1).

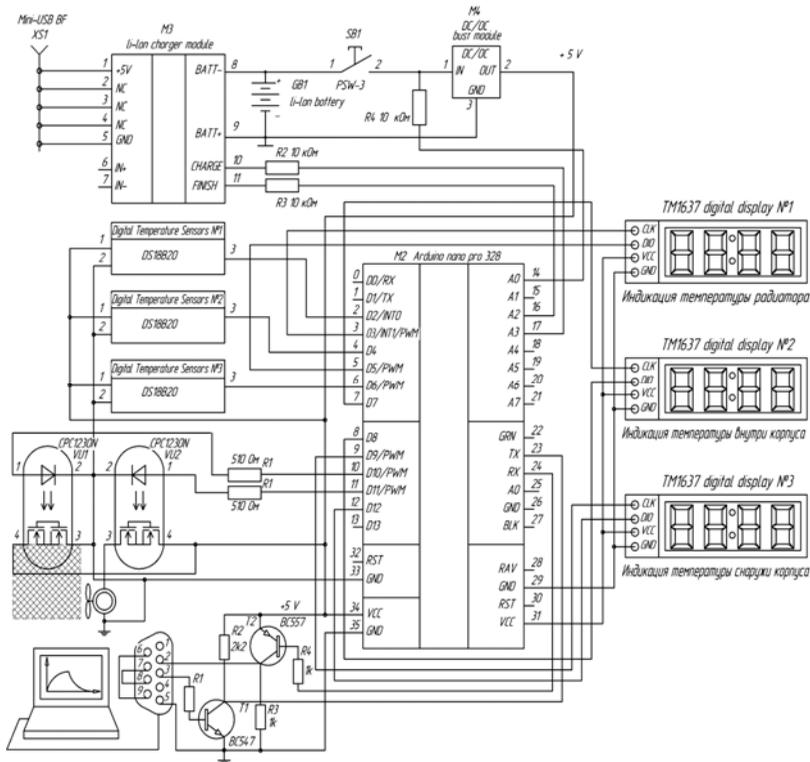


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема лабораторно-испытательного стенда для исследования тепловых режимов работы светодиодной осветительной аппаратуры

На принципиальной электрической схеме, в верхней ее части, изображен блок питания опорного напряжения +5 В, далее, ниже, изображена плата микроконтроллера с подключенными к ней следующими элементами:

- тремя микросхемными датчиками температуры, по сути являющимися стабилитронами с малым дифференциальным сопротивлением (менее 1 Ом) и напряжением стабилизации, пропорциональным абсолютной температуре;

- двумя мощными фототранзисторами, управляемыми с помощью гальванической развязки, один из которых выполняет функции термонагруженного компонента, а другой управляет электровентилятором;

- тремя цифровыми индикаторами температуры, позволяющими проводить один из двух видов теплового контроля:

- а) при исследовании теплоотводящей способности радиатора осуществляется контроль: температуры кристалла светодиода; температуры теплоотводящей подложки светодиода; температуры самого радиатора;

- б) при исследовании теплового режима внутри корпуса светодиодного светильника осуществляется контроль: температуры внутри корпуса; температуры внешней окружающей среды; температуры радиатора;

- одним выходом на персональный компьютер по протоколу RS-232 через промежуточный адаптер, собранный на двух транзисторах.

Оценка эффективности теплоотвода проектируемой светодиодной осветительной аппаратуры, осуществляемая с применением микропроцессорной техники, позволит проектировщикам светодиодного освещения своевременно находить и устранять все технологические ошибки, что позволит им разрабатывать светодиодную светотехническую продукцию высокого качества с повышенным ресурсом и улучшенной светоотдачей [3].

Список литературы

1. Чернышов, В. А. Обоснование целесообразности применения иммерсионной системы охлаждения в светодиодных светильниках промышленного назначения / В. А. Чернышов, М. В. Новиков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3(54). – С. 88 – 93.

2. Чернышов, В. А. Использование микропроцессорного контроля теплотехнических параметров светодиодной осветительной аппаратуры на этапе ее проектирования / В. А. Чернышов, М. В. Новиков // Агротехника и энергообеспечение. – 2017. – № 3(16). – С. 27 – 33.

3. Гладков, О. Б. Повышение пожарной безопасности осветительного оборудования производственных и гражданских зданий / О. Б. Гладков, В. А. Чернышов // Физика и современные технологии в АПК : материалы X Междунар. молодежной конф. молодых ученых, студентов и школьников. – Орел : Изд-во Орловский ГАУ, 2019. – С. 125 – 128.

Чернышов В. А.¹, Печагин Е. А.², Шустиков А. В.²

¹Орловский государственный аграрный университет
им. Н. В. Парахина (г. Орел, Россия),

²Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Аннотация. Проведен анализ эксплуатационной аварийности сетей с изолированной нейтралью выше 1000 В. Показан способ предупреждения об опасности при приближении к опоре линии электропередачи с замыканием на землю в сетях с изолированной нейтралью, повышающий безопасность и идентификацию повреждений при эксплуатации.

Ключевые слова: однофазные замыкания на землю, электрические сети с изолированной нейтралью, электротравматизм, регистратор-сигнализатор, эксплуатация воздушных линий электропередачи.

В районах с высоким уровнем энергопотребления наиболее частыми аварийными ситуациями являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ), ущерб от которых достигает колоссальных значений и создает предпосылки для более активного использования надежных селективных защит от замыканий на землю, проведения непрерывного мониторинга состояния изоляции [1]. Постоянный контроль токов утечки линий электропередачи становится основополагающей задачей, что требует использования более высокого уровня автоматизации и внедрения аспектов цифровизации в преобразовании и транспортировке электроэнергии.

Большинство ОЗЗ развиваются постепенно и возникают в результате развития скрытого дефекта изоляции, возникшего при изготовлении, монтаже, ремонте или эксплуатации электроустановки. Устойчивые ОЗЗ сопровождаются значительными по времени бестоковыми

паузами, которые развиваются как кратковременные пробой изоляционных структур. Начало кратковременного пробоя может сопровождаться достаточно продолжительным временным промежутком, прежде чем возникнет замыкание на землю. При этом постоянный осмотр воздушных линий электропередачи в целях отыскания места повреждения, являющийся как особый вид достаточно трудоемких плановых эксплуатационных работ, может оказаться достаточно неэффективным в электрических сетях.

Обнаружение замыкания на землю должно производиться в соответствии с директивными документами по охране труда и безопасности работы в электроустановках [2]. Данные виды работ, а особенно мероприятия по их устранению, не допустимы на воздушных линиях электропередачи, когда осуществляется подъем на опору и соприкосновение с ее конструктивными элементами. В темное время суток не разрешают осуществлять прохождение под проводами воздушных линий электропередачи в целях визуального осмотра и выявления скрытых дефектов. Для проведения безопасных работ районные электрические сети определяют конкретный маршрут прохода линий электропередачи в любое время суток, с обязательным условием движения в стороне от проводов с подветренной стороны. Необходимо отметить, что признаки протекания тока на землю достаточно сложно обнаружить, в отличие от случаев, когда провод лежит на земле, видно явно выраженное повреждение изолятора или зафиксировано прикосновение провода к телу опоры. Все перечисленные ситуации, вплоть до возникновения электрической дуги на стойках и в местах заделки опоры в грунт, запрещают приближение к электроустановке.

Но, несмотря на это, статистические данные о числе электрообслуживающего персонала, пострадавшего от электропоражений, связанных с отысканием замыканий на землю в распределительных сетях с изолированной нейтралью, свидетельствуют о недостаточном инженерно-техническом обеспечении безопасности и автоматизации данного вида работ.

Для идентификации замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью разработаны следующие способы и устройства: способ определения линии с замыканием на землю в сети с изолированной нейтралью; способ защиты трехфазной сети с изолированной нейтралью от однофазных замыканий на землю; способ мониторинга изоляции в сетях с изолированной нейтралью; способ идентификации опоры с замыканием на землю в распределительных сетях с изолированной нейтралью; способ дистанционного отключения линии с замыканием на землю в распределительных сетях с изолированной нейтралью;

способ предупреждения хищения проводов в сетях с изолированной нейтралью при отыскании места повреждения при снятом напряжении; способ предупреждения об опасности при приближении к опоре линии электропередачи с замыканием на землю в сетях с изолированной нейтралью (рис. 1); конструкция регистратора тока замыкания для опор линий электропередачи; конструкция ограничителя тока искусственного двойного замыкания на землю [3, 4].

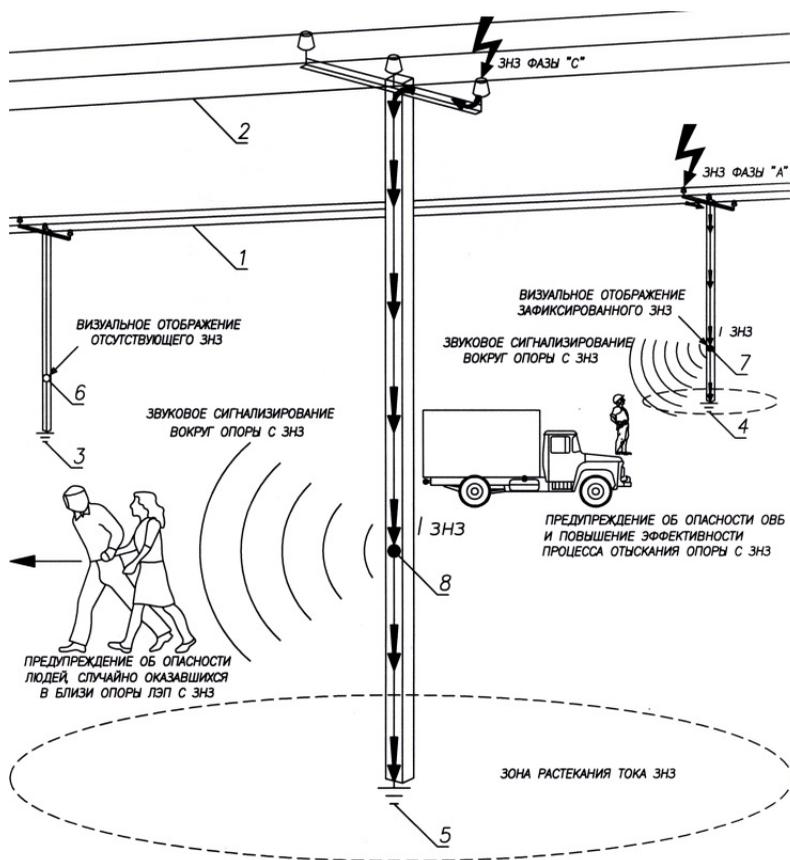


Рис. 1. Схема иллюстрации способа предупреждения об опасности при приближении к опоре ЛЭП с ЗНЗ в сетях с изолированной нейтралью:

- 1, 2 – электрически связанные линии сети с изолированной нейтралью;
3 – 5 – заземляющие устройства; соединяющие траверсу опоры с землей;
6 – 8 – регистраторы-сигнализаторы, включенные в цепь заземляющего устройства

Представим способ автоматического предупреждения об опасности при приближении к опоре ЛЭП с замыканием на землю в сетях с изолированной нейтралью. При повреждении изоляции одной из фаз любой опоры линии / происходит замыкание этой фазы на землю через заземляющее устройство 4. При прохождении тока замыкания на землю через заземляющее устройство 4 и соответственно через регистратор-сигнализатор 7 последний фиксирует прохождение тока замыкания на землю и формирует вокруг опоры линии / звуковые колебания, предупреждая тем самым об опасности. При этом на подстанции срабатывает устройство неселективной сигнализации замыканий на землю, и дежурный после отыскания поврежденной линии производит ее отключение и вызывает оперативную выездную бригаду для ремонта.

Специалисты ремонтной бригады производят осмотр опор этой линии и быстро отыскивают ту опору, на которой регистратором-сигнализатором 7 зафиксирован факт протекания тока замыкания, и производит ее ремонт, после чего возвращает регистратор-сигнализатор 7 в исходное состояние. Если по каким-либо причинам линию с ЗНЗ сразу не отключают, например, если она питает ответственных потребителей, то ремонтная бригада производит осмотр опор этой линии под напряжением, при этом вокруг опоры с поврежденной изоляцией регистратором-сигнализатором 7 будут формироваться звуковые колебания. Данный вид постоянного оповещения повреждения защитит от поражения электрическим током не только специалистов, занимающихся обслуживанием электрической сети, но и людей и животных, случайно оказавшихся в этой зоне.

Предлагаемый способ позволяет предупредить об опасности людей, оказавшихся вблизи опор линий электропередачи с поврежденной изоляцией до того момента, когда оперативно-выездная бригада отыщет эту опору и отключит линию для ремонта. Преимущество этого устройства заключается в автоматическом обнаружении замыкания на землю в месте повреждения. Так же стоит отметить, что данный способ значительно сокращает вероятность гибели скота от шагового напряжения, так как животные будут бояться подойти к опоре, издающей резкие звуковые колебания. Снижение электротравматизма при эксплуатации электроустановок является одним из приоритетных направлений в электроэнергетике.

Список литературы

1. Повышение качества электрической энергии в распределительных сетях / С. В. Кочергин и др. // Состояние и развитие топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства

России : сб. материалов 3-й Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во ТАМБОВПРИНТ, 2009.

2. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – М. : НЦ ЭНАС, 2004. – 120 с.

3. Чернышов, В. А. Повышение безопасности и надежности электрических сетей напряжением 6 – 10 кВ с изолированной нейтралью за счет реализации нового способа мониторинга изоляции / В. А. Чернышов, А. И. Гавриченко // Вестник охраны труда. – Орел : ФГНУ «ВНИИОТ». – 2006. – № 4. – С. 20 – 23.

4. Кобелев, А. В. Актуальные вопросы моделирования развития электроэнергетических систем / А. В. Кобелев, С. В. Кочергин, Н. А. Хребтов. – Тамбов : Изд-во ТРОО «Сетевой центр футурологии и прогнозистики «Интернум», 2011. – № 2.

5. Fractal Simulation. Бюллетень центра фрактального моделирования // Научно-теоретический и прикладной журнал. – С. 35 – 38.

Секция 3

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Баранкин В. Л.¹, Миропольский Ф. П.²

¹ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия),

²ФГБУ «ЦНИИ» Минобороны России (г. Москва, Россия)

ЭТАПЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НЕУПРАВЛЯЕМЫХ АВИАЦИОННЫХ РАКЕТ

Аннотация. Рассмотрены основные этапы совершенствования габаритно-массовых и энергетических характеристик ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ) неуправляемых авиационных ракет (НАР) отечественного производства, показаны основные направления их дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова: НАР, РДТТ, РТТ.

С момента принятия НАР на вооружение отечественной авиации в конце 1930-х гг. и по настоящее время накоплен большой опыт разработки и эксплуатации РДТТ НАР, который позволяет проанализировать основные направления их совершенствования. Эти направления охватывают улучшение габаритно-массовых, энергетических, баллистических и эксплуатационных характеристик, повышение надежности и безопасности двигателей, а также снижение их стоимости [1 – 3].

Важными характеристиками НАР являются: время полета на активном участке (время работы РДТТ), дополнительная скорость и калибр ракеты. Первая из них в значительной мере определяет минимальную дальность пуска ракеты, а вторая – максимальную дальность пуска и ударное действие ее боевой части (БЧ). Под калибром НАР понимается максимальный диаметр ее РДТТ в миллиметрах. Современная система НАР Военно-Воздушных Сил (ВВС) РФ включает четыре типа ракет: С-8, С-13, С-24 и С-25, калибром от 80 до 266 мм. Ракеты одного калибра имеют, как правило, однотипный РДТТ, а отдельные образцы НАР различаются типами БЧ, что отражается в их наименовании. При этом наиболее развитой по номенклатуре образцов РДТТ и БЧ является система НАР типа С-8, которая применяется практически без ограничений со всех существующих ударных ЛА оперативно-тактической и армейской авиации ВВС России. Поэтому ана-

лиз основных этапов совершенствования РДТТ проведем на примере НАР калибра 80 мм.

Первые образцы НАР типа С-8 были приняты на вооружение еще в начале 1970-х гг. С тех пор и до настоящего времени все РДТТ НАР этого типа имеют заряд ракетного твердого топлива (РТТ) в форме цилиндрической шашки с внутренним каналом в виде многолучевой звезды. Это позволяет уменьшить максимальную глубину прогорания заряда при сохранении требуемой площади поверхности горения и реализовать при этом сравнительно небольшое время работы двигателя. Следует отметить, что большинство модификации РДТТ комплектовались нитроцеллюлозным РТТ, и только в последней модели НАР было использовано смесевое топливо на основе синтетических полимеров и окислителей. Первые образцы снаряжались РТТ рецептуры ВИК-2Д (высокоэнергетический, известняк как катализатор горения, скорректированный после принятия на вооружение, 2-й в серии, имеет в составе динитратдиэтиленгликоль) [4]. Заряд РТТ имел внутренний канал в форме 9-лучевой звезды, при этом наружная цилиндрическая поверхность и торцы заряда покрывались бронирующим составом, исключающим горение заряда.

Однако при массовых применениях НАР С-8 выявилась проблема их совместимости с ЛА, что потребовало модернизации РДТТ НАР. При пуске НАР впереди воздухозаборников двигателей ЛА возникала раскаленная газовая струя от РДТТ, которая после всасывания в компрессор нарушала режим работы двигателя ЛА вплоть до возникновения помпажа и заглохания. Локально эта проблема была решена разработкой РДТТ, который имел дополнительную шашку-сопроводитель ШС-8 из порохового состава ТСП-40, вкладываемую внутрь основного заряда. Наличие ШС-8 существенно снижало температуру струи газов, истекающих из сопел РДТТ и, тем самым, обеспечивало уменьшение воздействия газовой струи на работу двигателя ЛА, что позволяло применять ракеты на современных ЛА без ограничений.

Радикально проблема совместимости НАР и ЛА была решена после разработки более совершенного нитроцеллюлозного РТТ семейства БНК, который имеет значительно меньшую температуру горения. При этом сначала РДТТ НАР типа С-8 были модернизированы путем применения шашек РТТ рецептуры БН-К с 7-лучевым звездообразным каналом. Последние модификации ракет С-8 стали комплектоваться более высокотехнологичными РДТТ с РТТ рецептуры БНК-Р (баллиститный, нитроглицериновый, скорректированный, ракетный), выполненным в виде шашки всестороннего горения с 3-лучевым звездообразным каналом. Заметим, что из рецептуры семейства БНК

с этого времени стали изготавливаться шашки для РДТГ НАР всех калибров, состоящих на вооружении ВВС РФ. Основные характеристики РДТГ НАР типа С-8 с различными типами БЧ представлены в табл. 1 [5].

1. Основные характеристики РДТГ НАР калибра 80 мм

Тип НАР	С-8, С-8С	С-8В, С-8ВС	С-8А, С-8АС, С-8М, С-8КО, С-8ОФ	С-8Т, С-8САМ, С-8ДМ, С-8БМ, С-8ПМ, С-8ДМ, С-8ОМ, С-8ЦМ, С-8ДФ, С-8КОМ
Характеристики				
Масса РДТГ, кг	7,9	8,7	8,05	8,4
Масса заряда РТТ, кг	3,75	4,05	3,87	3,1
Число лучей в канале	9	9	7	3
Марка заряда РТТ	ВИК-2Д	ВИК-2Д с ШС-8 (из ТСП-40)	БН-К	БНК-Р
Дульная скорость, м/с	37...72	36...70	37...64	55...75
Время работы, с	0,69...1,08	0,69...1,08	1,14...1,56	0,45...1,3
Дополнительная скорость, м/с	630...647	598...602	605...654	450...600
Дальность активного участка полета, м	210...340	215...320	400...505	200...350

Среди последних отечественных разработок НАР семейства С-8 следует особо отметить создание системообразующей ракеты С-8ОФП нового поколения, разработанной в ОАО «НПО «СПЛАВ» [6].

Эта НАР имеет малогабаритный высокоэнергетический РДТТ на смешанном РТТ с цилиндрической шашкой и каналом в виде 5-ти лучевой звезды с лучами щелевой формы. По сравнению с последней модификацией РДТТ НАР предыдущего поколения, энергоотдача от единицы массы увеличена в 1,8–2 раза. Двигатель имеет существенно меньшую длину и массу. При этом обеспечивается: снижение разброса времени работы РДТТ при крайних температурах боевого применения в 4 раза, снижение усилия отдачи при одиночной и серийно-залповой стрельбе в 1,5–2 раза, полное отсутствие вылетающих частиц топлива и снижение массы вылетающих остатков конструктивных элементов, снижение воздействия на двигательную установку и планер ЛА. Разработка РДТТ нового поколения позволила увеличить массу боевой нагрузки до 3 раз по сравнению с ракетами предыдущего поколения и максимальную баллистическую дальность пуска с 4 до 11 км.

Таким образом, анализ этапов развития РДТТ НАР типа С-8 показывает, что происходит их постоянное совершенствование, с использованием новых подходов, реализации передовых технологий и новейших разработок в области вооружения.

Список литературы и источников

1. Миропольский, Ф. П. Баллистика авиационных средств поражения. Ч. 1. Внутренняя баллистика ствольных систем и РДТТ / Ф. П. Миропольский, А. А. Морозов, Е. В. Пырьев ; под ред. Ф. М. Миропольского. – М. : ВВИА, 2008. – 255 с.
2. Миропольский, Ф. П. Оптимизация параметров РДТТ : учебное пособие / Ф. П. Миропольский, П. И. Головин. – М. : ВВИА, 1984. – 70 с.
3. Миропольский, Ф. П. Обоснование калибра и основных параметров НАР с БЧ проникающего типа : учебно-методическое пособие / Ф. П. Миропольский, Д. А. Петряков. – М. : ВВИА, 2006. – 37 с.
4. Косточко, А. В. Пороха, ракетные твердые топлива и их свойства / А. В. Косточко, Б. М. Казбан. – М. : ИНФА-М, 2014. – 400 с.
5. Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век: в 10 т. Т. X. Авиационное вооружение и авионика. – М. : ИД «Оружие и технологии», 2005. – 766 с.
6. Карнозов, В. Неуправляемая авиационная ракета С-80ФП [Электронный ресурс] / В. Карнозов // Электронный журнал «Aviation Explorer». – 2018. – 30 июля. – URL : <https://www.aex.ru/docs/3/2018/7/30/2788/>. – Загл. с экрана.

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ НЕПРЕРЫВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ

Аннотация. Проведен анализ показателей и критериев оценки непрерывности управления процессом, выполняемым в заданных условиях.

Ключевые слова: система управления, непрерывность, показатель, критерии.

Анализ различных источников по данной тематике [1, 2] позволяет сделать вывод о том, что под непрерывностью управления процессом понимается возможность управляющих объектов постоянно влиять на объекты управления, т.е. своевременно доводить до подчиненных командную информацию и получать от них информацию о складывающейся обстановке, независимо от того, в каких условиях они находятся.

Основными мероприятиями для достижения непрерывности управления процессом являются:

1. Своевременный сбор данных, постоянное знание обстановки.
2. Своевременное принятие решения и четкая постановка задач.
3. Комплексное использование всех имеющихся автоматизированных систем, комплексов средств автоматизации и связи.
4. Своевременное перемещение пунктов управления.
5. Оперативная передача управления на заранее подготовленные пункты управления в случаях выхода основного пункта управления из строя.

Особенностью количественной оценки такой характеристики системы управления как непрерывность является наличие определенных трудностей, связанных с тем, что модели управления различными процессами зачастую детализируют лишь отдельные его этапы с указанием действий должностных лиц различных звеньев управления, от которых зависит принятие того или иного управленческого решения или описывают отдельный цикл управления, чаще всего, организационный.

Одним из предлагаемых решений при выполнении моделирования управления процессом предлагается рассмотрение его как некоторого потока событий, который характеризуется определенной степенью регулярности и плотности.

В теории вероятности регулярным потоком событий называется последовательность однородных событий, происходящих одно за дру-

гим на оси времени, а точки их появления t_1, t_2, \dots, t_k разделены строго одинаковыми интервалами [3].

На рисунке 1 представлена структурная модель описания управления процессом. Регулярность управляющих воздействий при организации выполнения поставленных задач показал, что темп изменения обстановки осуществляется на указанной модели в среднем через равные промежутки времени. Исходя из вышеуказанного, поток управляющих воздействий предположен близким к пуассоновскому с плотностью, изменяемой во времени $\lambda(t)$. Необходимо отметить, что по однородности управляющие воздействия в ходе выполнения поставленных задач предложено подразделять на текущие и организационные. Так, текущие управляющие воздействия (ТУВ) связаны с постановкой задач, как правило, одному объекту управления, а организационные управляющие воздействия (ОУВ) соответствуют, в основном, регулированию основных этапов процесса. Необходимо отметить, что плотность потока данных управляющих воздействий будет различной для нескольких объектов.

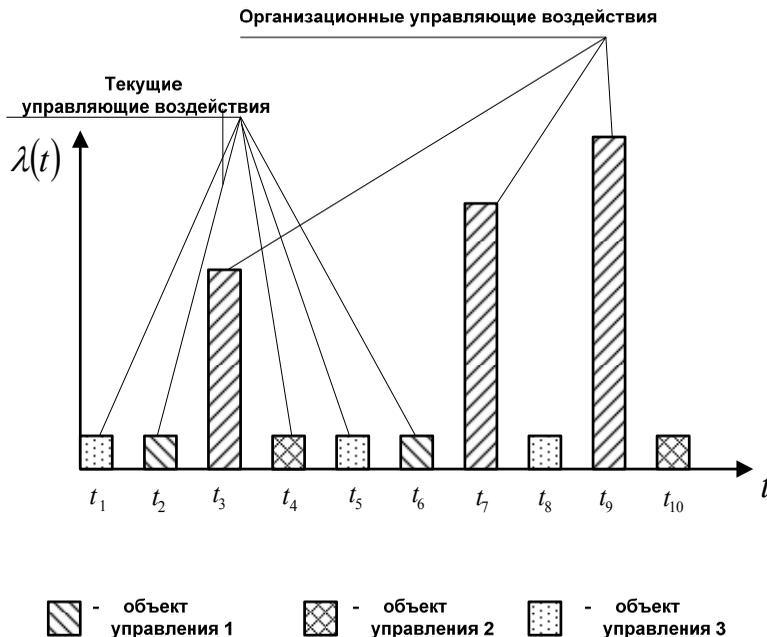


Рис. 1. Вариант структурной модели описания управления процессом

Таким образом, данный вариант управления процессом в течение заданного интервала времени и соответствующем темпе изменения обстановки ($T_{\text{ИО}}$), требующего со стороны должностных лиц организации управляющих воздействий наглядно показывает, что за рассматриваемый период будет оказано до 7–8 ТУВ и 3–4 ОУВ.

Оценку эффективности управления процессом возможно проводить путем количественной характеристики успешности реализации конкретного управляющего воздействия применением показателя средней длительности цикла управления ($T_{\text{Ц}}$), которая не должна превышать некоторого нормативного уровня ($T_{\text{Ц}}^{\text{нор}}$)

$$T_{\text{Ц}} = \sum_{i=1}^M T_{\Phi_i} \leq T_{\text{Ц}}^{\text{нор}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{Ц}}$ – длительность цикла управления; M – число операций (процедур) сетевого алгоритма работы управляющего объекта; T_{Φ_i} – время выполнения управляющим объектом i -й функции управления в отсутствие преднамеренно создаваемых угроз; $T_{\text{Ц}}^{\text{нор}}$ – нормативное значение длительности цикла управления процессом.

При длительности цикла управления большего нормативного $T_{\text{Ц}} \geq T_{\text{Ц}}^{\text{нор}}$, реализация управляющего воздействия вообще теряет практический смысл, так как из-за изменения ситуации оно не может дать требуемого эффекта. Основная трудность состоит в количественном определении величины $T_{\text{Ц}}^{\text{нор}}$.

Исходя из темпа изменения обстановки ($T_{\text{ИО}}$) можно считать, что ТУВ потенциально считается «успешным», если время его начала на конкретно сложившуюся обстановку не превышает 1/3 темпа изменения обстановки ($1/3 T_{\text{ИО}} \leq T_{\text{нач ТУВ}}$). Что касается ОУВ, то его можно отнести к «успешному», если время отклонения начала его практической реализации не превышает 2/3 темпа изменения обстановки ($2/3 T_{\text{ИО}} \leq T_{\text{нач ОУВ}}$). На данном этапе важную роль играет количественное определение, превышение порога которого приводит к срыву успешной реализации управляющего воздействия.

Применительно к ТУВ физический смысл величины такой пороговой задержки ($T_{\text{зад порог}}$) отражает состояние, при котором или объект выходит из зоны воздействия, или осуществление воздействия в интересах предыдущей обстановки становится явно нецелесообразным.

Аналогично реализация ОУВ может быть сорвана, если величина ($T_{\text{задпорог}}$) будет превышать время, в течение которого противоположная сторона сможет организовать и начать осуществлять эффективное ответное противодействие.

Таким образом, предлагается считать, что непрерывность управления процессом за заданный период выполнения поставленной задачи в целом достигнута, если успешно реализованы все ОУВ и не менее 70% ТУВ. Данный подход предоставляет возможность дальнейшей работы в направлении формирования и обоснования новых способов обеспечения устойчивости и непрерывности управления процессом, кроме того оценить существующие возможности системы управления рассматриваемой организации.

Список литературы

1. Боговик, А. В. Теория управления в системах военного назначения : учебник / А. В. Боговик, В. В. Игнатов – СПб. : ВАС. 2008. – 460 с.
2. Выпасняк, В. И. Оценка состояния системы управления войсками в ходе операции (боя) / В. И. Выпасняк, А. М. Гуральник. – М. : Военная мысль, 2008. – № 7. – С. 32 – 42.
3. Нагалин, А. В. Непосредственное управление боевыми действиями и оценка его эффективности / А. В. Нагалин, Ю. Е. Донсков, И. В. Анисимов. – М. : Военная мысль, 2015. – № 7. – С. 25 – 29.

Белоусов С. С., Федюнин П. А.

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия)

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ОРГАНИЗАЦИИ

Аннотация. Проведен анализ показателей и критериев оценки устойчивости связи организации для достижения целей управления процессом.

Ключевые слова: система связи, живучесть, помехоустойчивость, надежность, критерии.

В современных условиях качество обеспечения управления процессом зачастую становится ключевым моментом в решении поставленных задач в интересах достижения его целей. Для оценки состоя-

ния системы управления организации необходимо рассмотреть влияние на нее такой характеристики как устойчивость системы связи [1].

Устойчивость системы связи характеризуется способностью обеспечить управление чем-либо при воздействии различных деструктивных факторов, в том числе природного и техногенного характера [2].

Она определяется: живучестью, помехоустойчивостью, надежностью.

Для количественной оценки устойчивости системы связи в качестве основных показателей применим коэффициент исправного действия и коэффициент простоя, вычисляемый согласно формулы:

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ui}}{T}, \quad (1)$$

где t_{ui} – время исправного действия связи в i -м интервале; $i = 1, n$ – количество интервалов исправного действия; T – общее время функционирования канала связи;

Коэффициент простоя определяется из выражения:

$$K_n = \frac{\sum_{j=1}^m t_{nj}}{T}, \quad (2)$$

где t_{nj} – время исправного действия канала связи в j -м интервале; $j = 1, m$ – количество интервалов исправного действия;

Среднее время исправной работы численно равно:

$$T_u = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ui}}{T}, \quad (3)$$

соответственно время простоя равно:

$$T_n = \frac{\sum_{j=1}^m t_{nj}}{T}. \quad (4)$$

Пребывание канала связи в исправном состоянии и в отказе представляет полную группу событий, поэтому справедливо соотношение:

$$K_u + K_n = 1. \quad (5)$$

При достаточно большом времени работы канала справедливо соотношение:

$$K_n = \frac{T_n}{T_u + T_n}, \quad (6)$$

и соответственно:

$$K_n = \sum_{j=1}^m t_{nj} / T. \quad (7)$$

В этом случае взаимосвязь между K_u и K_n определяется соотношением:

$$K_u = K_n \frac{T_u}{T_n}. \quad (8)$$

Для установившегося режима работу канала связи характеризует пуассоновский поток отказов и восстановлений с интенсивностью отказов $\lambda = 1/T_u$ и интенсивностью восстановлений $\mu = 1/T_n$ в соответствии с экспоненциальным законом:

$$P_u = e^{-\frac{\lambda}{\mu}} = e^{-\frac{T_n}{T_u}} = \frac{1}{1 + \frac{T_n}{T_u}} = \frac{T_u}{T_u + T_n} = K_u. \quad (9)$$

Отсюда вытекает возможность как временной так и вероятностной трактовки K_u .

Как временная (статистическая) характеристика K_u показывает долю времени, в течение которого канал связи сохранял свою работоспособность, т.е. обеспечивалась возможность обеспечивать информационные процессы в системе управления с заданными своевременностью, достоверностью и безопасностью. K_u в этом случае определяется по формуле (1) для любых значений T_u и T_n . Данный способ определения K_u применяется для оценки устойчивости канала связи за данный промежуток времени. Количественно в этом случае может выражаться в долях (например, $K_u = 0,9$).

В вероятностном смысле K_u определяется как вероятность того, что канал связи будет исправным (работоспособным) в любой момент времени. В этом случае K_u применяется для прогнозирования (априорной оценки) устойчивости развертываемой системы связи с использованием формул (6 – 8). При этом T_u и T_n имеют смысл математического ожидания длительности интервалов исправной работы и длительности интервалов простоя.

В соответствии с экспоненциальным законом вероятность того, что канал связи будет устойчиво функционировать в течение заданного интервала времени может быть определена по формуле:

$$P_u = e^{-\frac{t_{\text{зад}}}{T_u}}. \quad (10)$$

Устойчивость направления связи сложной структуры определяется устойчивостью совокупности составляющих его линий (каналов) связи. Для последовательного соединения направления (составления канала) показатели устойчивости направления определяются при условии взаимной независимости отказов из выражения:

$$K_u^{\text{НС}} = \prod_{i=1}^n K_{ui}^{\text{ЛС}}, \quad (11)$$

$$T_u^{\text{НС}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{ui}^{\text{ЛС}}} \right)^{-1}, \quad (12)$$

$$T_n^{\text{НС}} = T_u \frac{1 - K_u^{\text{НС}}}{K_u^{\text{НС}}}. \quad (13)$$

Для параллельного соединения (вариант резервирования линий, каналов) соответственно:

$$K_u^{\text{НС}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - K_{ui}^{\text{ЛС}}), \quad (14)$$

$$T_u^{\text{НС}} = T_n^{\text{НС}} \frac{K_{ui}^{\text{ЛС}}}{1 - K_{ui}^{\text{ЛС}}}, \quad (15)$$

$$T_n^{\text{НС}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_n^{\text{ЛС}}} \right)^{-1}, \quad (16)$$

где $K_u^{\text{НС}}$ – коэффициент исправного действия i -й линии (канала) связи; $T_u^{\text{НС}}$, $T_n^{\text{НС}}$ – среднее время исправной работы (простоя) i -й линии (канала) связи; $i = 1, n$ – число линий (каналов) связи на направлении.

Анализ этих соотношений позволяет заключить, что по мере увеличения числа линий (каналов) связи на направлении устойчивость направления снижается при их последовательном соединении и воз-

растает при параллельном соединении. Это свойство используется для повышения устойчивости и увеличения (резервирования) параллельных каналов на направлении связи.

Критерием оценки устойчивости системы связи служат выражения $K_u \geq K_{umr}, P_u \geq P_{umr}, T_n \geq T_{umr}$, т.е. показатели устойчивости должны быть не хуже требуемых. Тогда:

$$K_u^{cc} = K_{иж}^{cc}, K_{ипу}^{cc}, K_{ин}^{cc}, \quad (17)$$

где $K_{иж}^{cc}, K_{ипу}^{cc}, K_{ин}^{cc}$ – коэффициенты исправного действия системы (элемента системы) связи по живучести, помехоустойчивости, надежности.

В целом высокая устойчивость системы связи достигается выполнением всего комплекса мероприятий, направленных на повышение живучести, помехоустойчивости и надежности системы связи.

Список литературы

1. Боговик, А. В. Теория управления в системах военного назначения : учебник / А. В. Боговик, В. В. Игнатов. – СПб. : ВАС, 2008. – 460 с.
2. Величко, В. В. Модели и методы повышения живучести современных систем связи / В. В. Величко, В. Г. Попков, В. К. Попков. – М. : «Горячая линия-Телеком», 2016. – 270 с.

Данилин М. А., Татаринов А. Н.

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия)

ПОСТРОЕНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ, ОБЛАДАЮЩИХ СВОЙСТВОМ УСТОЙЧИВОСТИ

Аннотация. Представлен анализ способов построения телекоммуникационных сетей, которые обеспечивают информационный обмен с требуемым качеством при воздействии дестабилизирующих факторов.

Ключевые слова: телекоммуникационные сети, сетевые структуры, устойчивость.

В процессе функционирования телекоммуникационных сетей (ТКС) на них воздействуют различные факторы, нарушающие нормальную работу ее элементов – невыполнение условий электромаг-

нитной совместимости радиоэлектронных средств, преднамеренные и не преднамеренные помехи, выход из строя средств связи по технико-эксплуатационным причинам. Таким образом, ТКС должны обладать способностью выполнять свои функции при выходе из строя части элементов сети в результате воздействия дестабилизирующих факторов, т.е. обладать необходимой устойчивостью [1].

Как известно, свойством устойчивости обладают только избыточные системы, для построения которых необходимо соблюдать ряд общих принципов:

1. Элементы сети связи должны обладать свойством высокой стойкости и малой (равномерной) структурной значимости. Реализация данного принципа основана на построении однородных ТКС.

2. Структура сети должна обеспечивать возможно большую связность. ТКС должна быть разветвленной, позволяющей формировать кратчайшие пути (маршруты) в условиях широкого спектра воздействий.

3. Состояния работоспособности сети должны обеспечиваться возможно меньшим числом элементов. Это требует повышения разветвленности сети и реализации прямых и резервных (обходных) маршрутов.

4. Различные состояния работоспособности должны обеспечиваться различными элементами. Реализация данного принципа также требует увеличения числа элементов ТКС и комплексного использования различных родов связи, территориальный разнос элементов узлов связи [2].

Применение указанных принципов обеспечивает следующие способы построения ТКС, обладающих свойством устойчивости:

а) построение регулярных сетевых структур с минимальной неоднородностью и равномерной значимостью элементов, что обеспечивает увеличение емкости минимального сечения в структуре сети;

б) выборочная защита элементов сети. Этот способ предполагает, что средства (ресурсы) расходуются не на все элементы сети;

в) дублирование (резервирование). Данный способ предполагает реализацию принципов 1, 2 и основан на развитии избыточности элементов;

г) автономизация элементов сети. Способ основан на реализации принципа 3, на основе применения универсальных по функциональному назначению и более сложных элементов;

д) разукрупнение или разделение элементов. Данный способ применяется в том случае, когда в структуре сети имеются элементы, обладающие высокой структурной значимостью и низкой стойкостью, например центральный элемент в структуре «звезда».

Таким образом, в результате реализации способов (а, в) обеспечивается построение магистральных сетей на основе регулярных (ячеистых) сетевых структур, а реализация способов (г, д) обеспечивает устранение единой точки отказа в сетях доступа и построение их на основе регулярных (кольцевых) структур, применение представленных способов позволяет повысить устойчивость проектируемых и действующих телекоммуникационных сетей.

Список литературы

1. ГОСТ 53111–2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. – М. : Стандартинформ, 2009. – 15 с.
2. Назаров, А. Н. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения / А. Н. Назаров, К. И. Сычев. – Красноярск : Изд-во ООО «Поликом», 2010. – 389 с.

Ивануткин А. Г., Асанов А. С.

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия)

ОСОБЕННОСТИ ОСНАЩЕНИЯ АЭРОДРОМОВ ВРЕМЕННОГО БАЗИРОВАНИЯ АВИАЦИИ ОБЪЕКТАМИ АВИАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Аннотация. Предложен подход к оснащению аэродромов временного базирования государственной авиации объектами авиационной инфраструктуры в отношении радиотехнического обеспечения полетов авиации с применением современных модульных конструкций.

Ключевые слова: объекты радиотехнического обеспечения, модульные конструкции.

В современных условиях реализация возможностей государственной авиации напрямую зависит от эффективности решения задач всестороннего обеспечения. Одним из видов обеспечения полетов, от состояния которого непосредственно зависит устойчивое, непрерывное и безопасное управление авиацией на земле и в воздухе является радиотехническое обеспечение (РТО) [1].

Применение авиации с различных аэродромов, особенно с тех, где авиация базируется не постоянно, требует уточнения решаемых задач РТО полетов с требуемым качеством с учетом особенностей физико-географических условий регионов применения авиации и их дислокации [2].

Учет всех особенностей применения авиации в том или ином регионе является сложной многокритериальной задачей, при этом возникает необходимость определения типового набора объектов авиационной инфраструктуры в части, касающейся РТО полетов [3].

При выборе типов и мест развертывании средств РТО необходимо учитывать их возможности по обеспечению требуемого уровня безопасности полетов. Средства связи и РТО размещаются в соответствии с требованиями Норм годности к эксплуатации аэродромов Государственной авиации. Для размещения обеспечивающего персонала предлагается развертывание типовых модулей исходя из количества инженерно-технического состава каждого объекта РТО. Кроме того, на каждом объекте необходимо дополнительно спланировать место для разогрева и приема пищи и санузел.

На аэродромах временного базирования авиации предлагается строительство мобильных комплексов жизнеобеспечения, которые должны обеспечивать: дооборудование фильтровентиляционных установок многоступенчатой очисткой от пыли; высокую теплостойкость; быстрый процесс сборки и разборки модульных зданий; легкость транспортировки к месту установки; стандартные типовые размеры блок-модулей (перевозимых автомобильным транспортом (железнодорожным, морским (водным) и воздушным транспортом); высокую скорость установки; универсальность использования; экономическую эффективность; устойчивость к воздействию агрессивных сред; простоту конструкции; устойчивость к многократности применения в процессе эксплуатации (неоднократные сборки и разборки).

В состав мобильных комплексов жизнеобеспечения предлагается включить: малогабаритные, среднегабаритные сборно-разборные контейнерные объекты (модули) для размещения обеспечивающего персонала; специализированные сборно-разборные контейнерные объекты (модули) (кухни, душевые, туалеты, прачечные, мусоросжигательные установки, контейнеры для водоподготовки и водохраниения, контейнеры для сточных вод); объекты жизнеобеспечения (дизельные электрогенераторы, воздухонагревательные агрегаты, мобильные кондиционеры воздуха); сборно-разборное ограждение; сборно-разборные резино-пластиковые дорожки, осветительные вышки, топливораспределительные резервуары, мебель, транспортировочную упаковку и т.д.

При проектировании мобильного комплекта жизнеобеспечения необходимо учесть следующее: все объекты должны быть укомплектованы автономными системами поддержания заданной температуры в зимнее и летнее время года (отопление и кондиционирование). Для отопления и приготовления горячей воды использовать электрические калориферы и бойлеры (от общей энергосети или от дизельных

электростанций) или твердое топливо; столовая должна представлять собой просторное комфортное отапливаемое кондиционируемое помещение, укомплектованное всей необходимой мебелью и посудой. В состав столовой должно входить современное кухонное оборудование, обеспечивающее приготовление разнообразной горячей порционной пищи, и автоматизированный блок (машина) помывки и сушки посуды; в состав комплекса должны входить современные высокотехнологичные модульные элементы водоснабжения и санитарно-гигиенического обеспечения, гарантирующие максимально комфортные условия пребывания и эксплуатации: туалеты и душевые, система водоочистки и водоподготовки (горячее водоснабжение); комплект модульного комплекса должен включать в себя модульный прачечный блок, оснащенный профессиональными стиральными и сушильными машинами.

Технические решения, примененные при проектировании мобильного комплекса жизнеобеспечения, должны отвечать самым современным требованиям в части автономного энергоснабжения, энергоэффективности и экологической, пожарной и электробезопасности объекта.

Кроме того, вышеизложенные требования, в том числе и санитарно-гигиенические должны быть рационально распределены по функциональным модулям (по отдельным типовым модулям или иметь единую систему функционирования для всего комплекса): многофункциональный модуль жилищно-бытовой; многофункциональный технический модуль; мобильные (высокомобильные) средства связи и РТО; мобильное светосигнальное оборудование; средства автоматизации управления; энергоснабжения; водоснабжения; системы охраны (контрольно-пропускные пункты, блок-посты); противопожарной защиты; модули по видам всестороннего обеспечения.

В целях оперативного оборудования аэродромов (площадок) временного базирования авиации предлагаются следующие элементы мобильного и высокомобильного исполнения: командно-диспетчерский пункт с возможностью инструментального контроля воздушной обстановки, предназначенный для оснащения аэродромов и вертодромов (комплекс зданий модульного типа серии «сегмент»); радиолокационная система посадки РСР-28М; высокомобильный обзорно-посадочный радиолокационный комплекс РЛК-ВМ; подсистема контроля движения на летном поле аэродрома (КВП-С) на базе РЛС ОЛП; трассовые радиолокационные комплексы 12А6 «Сопка-2» и 12А6К «Наблюдатель» с целью осуществления радиолокационного контроля маршрутов полета воздушных; всевысотный обнаружитель 96Л6 и РЛС целеуказания «Енисей»; радиолокационный комплекс противодействия БЛА РЛК-МЦ «Валдай»; мобильная обзорная РЛС метрового диапазона волн «Прима».

При оснащении аэродромов (площадок) необходимо учитывать состав и характеристики бортового радиоэлектронного оборудования воздушных судов.

Таким образом, предлагаемый подход позволит обеспечить требуемый уровень безопасности полетов в отношении РТО полетов, являющихся подсистемами (элементами) авиационной системы и системы обеспечения безопасности полетов государственной авиации на аэродромах временного базирования авиации, а также минимизировать риски возникновения опасных факторов, влияющих на безопасность полетов в любых условиях обстановки.

Список литературы

1. Ивануткин, А. Г. Методика оценки эффективности радиотехнического обеспечения полетов авиации / А. Г. Ивануткин // Военная мысль. – 2016. – № 7. – С. 33 – 40.
2. Ивануткин, А. Г. Особенности радиотехнического обеспечения государственной авиации в условиях Крайнего Севера / А. Г. Ивануткин, Р. А. Баранов, А. Н. Бородин // Охрана, безопасность, связь – 2015 : материалы международной НПК. Ч. 1. – Воронеж : Воронежский институт МВД России, 2015. – С. 180 – 182.
3. Ивануткин, А. Г. Интеграция связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления авиации / А. Г. Ивануткин // Вестник Академии военных наук № 4. – М. : АВН, 2015. – С. 64 – 67.

Казьмин А. И., Федюнин П. А., Рябов Д. А.
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и
Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия)

ОБНАРУЖЕНИЕ И ОЦЕНКА ДЕФЕКТОВ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЯХ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

Аннотация. Представлена новая электродинамическая модель на основе дисперсионного уравнения, позволяющая связать величину отслоения ДП с коэффициентом ослабления поля поверхностной медленной электромагнитной волны. Предложенная модель может служить основой радиоволновых способов обнаружения и оценки дефектов ДП.

Ключевые слова: диэлектрическое покрытие, метод поперечного резонанса, коэффициент ослабления поля поверхностной электромагнитной волны.

Диэлектрические покрытия (ДП) широко применяются в современном машиностроении и неразрушающий контроль их качества приобретает все возрастающее значение [1 – 3].

Развитие ДП идет по пути создания тонких, легких, широкополосных и устойчивых к внешним воздействиям материалов. При этом эффективно реализовать свойства современных ДП можно только при строгом соблюдении технологических режимов и допусков при их нанесении.

Для оценки эксплуатационной пригодности ДП наиболее предпочтителен дефектоскопический контроль на сверхвысоких частотах. Существующие методы и методики радиоволновой дефектоскопии обладают низкой достоверностью и вероятностью обнаружения дефектов из-за того, что не позволяют произвести оценку параметров дефекта, таких как глубина залегания, величина раскрытия и размер площади [1 – 3].

Как показано в [1, 2] физические особенности распространения поверхностных медленных электромагнитных волн (ПМЭМВ) в слоистых ДП можно эффективно использовать для их неразрушающего контроля. Основу представленных в [1, 2] методов составляют дисперсионные уравнения, которые позволяют связать электрофизические и геометрические параметры (ЭФГП) ДП с коэффициентом ослабления поля ПМЭМВ по нормали к поверхности покрытия – α_y [1, 2].

Целью представленной работы является разработка новой электродинамической модели для обнаружения и оценки дефекта типа «отслоение» ДП от металлической подложки. Электродинамическая модель основана на анализе и решении дисперсионного уравнения, позволяющего связать величину отслоения ДП с коэффициентом ослабления поля ПМЭМВ – α_y .

На рисунке 1, а приведена схема для составления дисперсионного уравнения ДП с дефектом в виде «отслоение». При этом подобный дефект можно рассмотреть как появление в системе «ДП-металлическая подложка» дополнительного слоя в виде «отслоение» с ЭФГП $\epsilon_{\text{отсл}} = \epsilon_0$, $\mu_{\text{отсл}} = \mu_0$ и $b_{\text{отсл}} = d$.

ДП характеризуется ЭФГП: $\epsilon_n; \mu_n; b$, где ϵ_n, μ_n, b – соответственно относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости, а также толщина ДП. Область свободного пространства формально берется в виде отдельного «слоя» ДП с ЭФГП $\epsilon_{\text{свп}} = \epsilon_0, \mu_{\text{свп}} = \mu_0$ и $b_{\text{свп}} = \infty$.

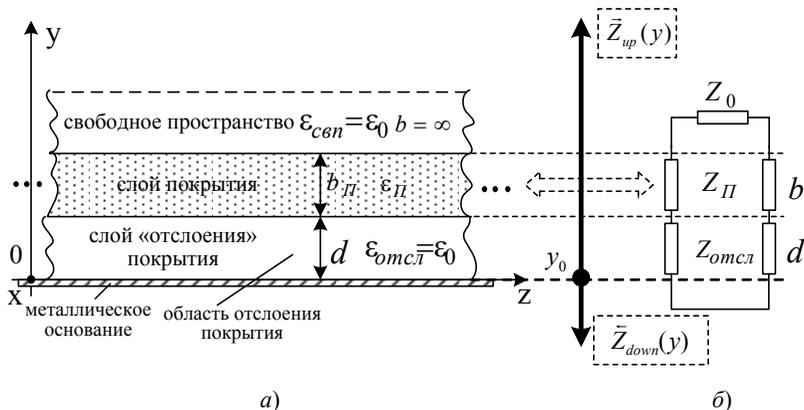


Рис. 1. Геометрия исследуемой системы

Найдем дисперсионное уравнение данной системы:

$$\alpha_y = f(\epsilon_{\text{П}}; b_{\text{П}}; d; \lambda),$$

где λ – длина волны генератора.

Дисперсионное уравнение для рассматриваемой системы «отслоение»-ДП-слой свободного пространства» составлялось на основе метода поперечного резонанса [4]. При этом входным информативным параметром дисперсионного уравнения является коэффициент ослабления поля ПМЭМВ α_y .

Эквивалентная схема ДП с дефектом типа «отслоение» приведена на рис. 1, б.

В качестве дисперсионного уравнения для собственных волн в ДП может использоваться уравнение поперечного резонанса [4], записанное относительно произвольно выбранного опорного сечения y_0 :

$$\bar{Z}_{\text{up}}(y) + \bar{Z}_{\text{down}}(y) = 0, \quad (1)$$

где $\bar{Z}_{\text{up}}(y)$ и $\bar{Z}_{\text{down}}(y)$ – эквивалентные характеристические сопротивления «вверх» и «вниз» относительно опорного сечения y_0 .

Выразим характеристические сопротивления слоев ДП через коэффициент ослабления поля ПМЭМВ α_y .

Характеристические сопротивления для Е-волн имеют следующий вид:

– «слой» свободного пространства:

$$Z_0 = -j \frac{\alpha_y}{\omega \varepsilon_0}, \quad (4)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота; ε_0 – диэлектрическая постоянная,
– слой ДП:

$$Z_{\Pi} = \frac{q_{\Pi}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_{\Pi}}, \quad (5)$$

где q_{Π} – коэффициент фазы ПМЭМВ,
– дополнительный в виде дефекта «отслоение»:

$$Z_{\text{отсл}} = \frac{q_{\text{отсл}}}{\omega \varepsilon_0}, \quad (6)$$

где $q_{\text{отсл}}$ – коэффициент фазы ПМЭМВ в дополнительном слое в виде «дефекта».

На основании рис. 1 формулу трансформации характеристических сопротивлений можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{\text{отсл}_\Pi} &= Z_{\text{отсл}_\Pi} \frac{Z_{\Pi} + jZ_{\text{отсл}_\Pi} \operatorname{tg}(q_{\text{отсл}}d)}{Z_{\text{отсл}_\Pi} + jZ_{\Pi} \operatorname{tg}(q_{\text{отсл}}d)}, \\ \bar{Z}_{\text{отсл}_\Pi_0} &= \bar{Z}_{\text{отсл}_\Pi} \frac{Z_0 + j\bar{Z}_{\text{отсл}_\Pi} \operatorname{tg}(q_{\Pi}b_{\Pi})}{\bar{Z}_{\text{отсл}_\Pi} + jZ_0 \operatorname{tg}(q_{\Pi}b_{\Pi})}, \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, итоговое дисперсионное уравнение для ДП при отслоении его от подложки, на основе (1), может быть представлено в следующем виде:

$$\bar{Z}_{\text{отсл}_\Pi_0} = 0, \quad (8)$$

где $\bar{Z}_{\text{отсл}_\Pi_0}$ – эквивалентное характеристическое сопротивление системы слоев ДП, приведенных на рис. 1, a и определяемое по рекуррентной формуле (7).

Таким образом, представлена обобщенная математическая модель, которая связывает величину отслоения ДП от подложки, его диэлектрическую проницаемость и толщину с коэффициентом нормального ослабления поля ПМЭМВ.

Список литературы

1. Федюнин, П. А. Способы радиоволнового контроля параметров защитных покрытий авиационной техники / П. А. Федюнин, А. И. Казьмин. – М. : Физматлит, 2013. – 190 с.
2. Федюнин, П. А. Теоретическое обоснование применения электромагнитных поверхностных волн в диагностике состояния диэлектрических и магнитодиэлектрических покрытий / П. А. Федюнин, А. И. Фесенко, А. И. Казьмин // Радиотехника. – 2009. – № 2. – С. 30 – 39.
3. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / под ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1995. – 408 с.
4. Фелсен, Л. Излучение и рассеяние волн. Т. 1 / Л. Фелсен, Н. Маркувиц ; пер. с англ. под ред. М. Л. Левина. – М. : Мир, 1978. – 547 с.

**Кибец А. С., Путинин Я. С., Косенко А. А.,
Темиргалиев Р. Р., Веремеев А. А.**
Оренбургский государственный университет, (г. Оренбург, Россия)

РАЗРАБОТКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БПЛА) ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Аннотация. Рассматривается тепловизионная диагностика воздушной линии электропередачи посредством беспилотного летательного аппарата. Процесс полета, подзарядки и снятия данных автоматизирован.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, диагностика воздушных линий электропередач, телевизионная съемка.

Передача электрической энергии на сегодняшний день осуществляется проводным способом. Электроэнергетические сети имеют продолжительные линии в своем составе, которые измеряются тысячами километров. Данные технологические сооружения необходимо диагностировать на наличие дефектов и их начального развития, с целью предотвращения аварийных ситуаций и их последствий.

В связи с тем, что на данный момент осмотр ВЛ производится преимущественно пешим способом, возникает необходимость создания устройства, способного производить проверку в автоматическом режиме.

Целью нашего проекта является разработка устройства на базе беспилотного летательного аппарата для автоматической диагностики

воздушных линий электропередачи, способного обследовать их на предмет наличия дефектов посредством тепловизионной съемки.

В проекте были поставлены следующие задачи:

- разработка модели БПЛА;
- реализация эффективной программы следования по заранее построенному маршруту;
- разработка зарядно-защитных станций;
- разработка системы передачи собранных данных в центр их обработки.

На рисунке 1 представлен алгоритм работы ПБЛА. Аппарат производит обследование выбранного участка ВЛ ЛЭП, расстояние которого регулируется количеством ЗЗС на пути следования. При приземлении на защитно-зарядную станцию аппарат будет подключаться к заряжающему устройству, которое питается от системы «Солнечная панель–контроллер заряда–накопитель». В процессе подзарядки квадрокоптер находится в режиме ожидания и осуществляет передачу отснятых данных в центр управления, где оператор с помощью специального ПО анализирует их и составляет отчет о состоянии ВЛ.

На рисунке 2 показан предварительный расчет выбранных нами компонентов квадрокоптера. С помощью программы «The Drive Calculator», которая позволяет определить оптимальные соотношения



Рис. 1. Алгоритм работы ПБЛА

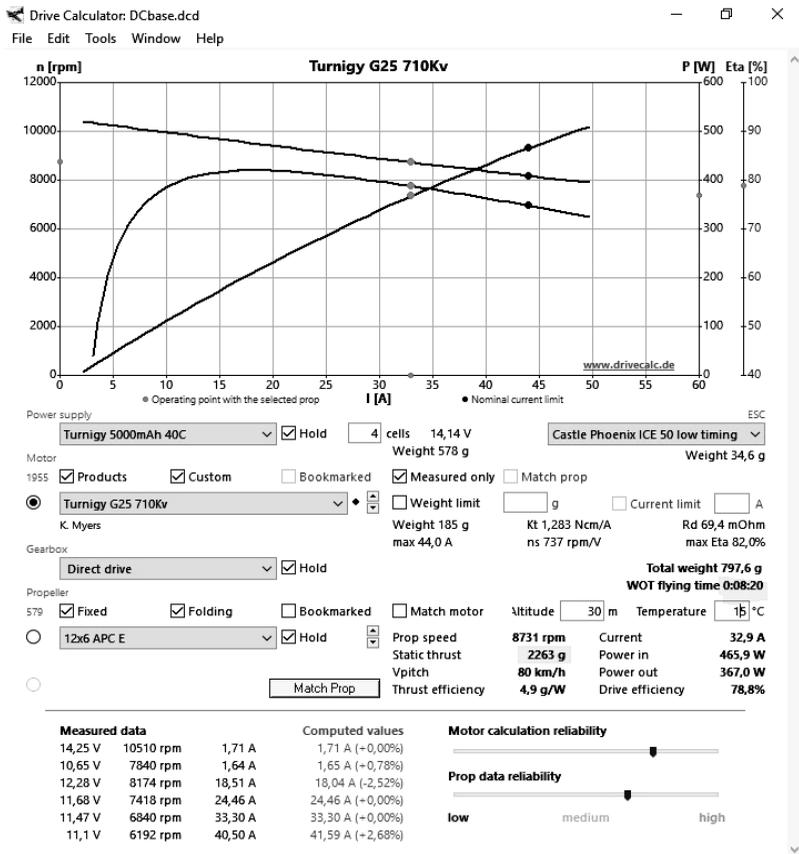


Рис. 2. Предварительный расчет полетных характеристик

между аккумулятором, двигателем и регулятором, мы можем сделать приблизительный вывод об полетных характеристиках БПЛА: общая тяга составляет 8 кг, полезная нагрузка около 4 кг, время полета 50 минут.

Данные показатели полностью удовлетворяют поставленным требованиям.

На рисунке 3 изображена площадь покрытия тремя защитно-зарядными станциями, рассчитанная в соответствии с полетными характеристиками дрона. Так, время полета от края до края одной зоны покрытия составит 50 минут, а максимальное расстояние 25 км. Данные показатели позволяют одной защитно-зарядной станции покрывать площадь примерно в 400 км².

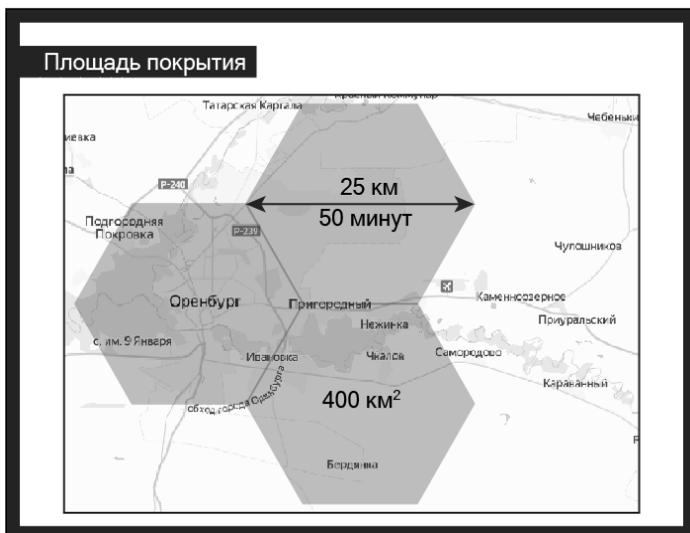


Рис. 3. Площадь покрытия в сравнении с картой Оренбургского района



Рис. 4. Внешний вид разрабатываемого прототипа

В заключение можно отметить, что был разработан прототип БПЛА, способный проводить диагностику технического состояния ВЛ посредством тепловизионной съемки. Следующим этапом станет сборка защитно-зарядной станции и определение оптимальной системы передачи собранных данных в центр их обработки.

Список использованных источников

1. Квадрокоптер своими руками [Электронный ресурс]. – СПб. : Александр Майоров, 2016. – URL : [https://www.youtube.com/watch?v = oYB5XStjWKs](https://www.youtube.com/watch?v=oYB5XStjWKs) – 10.05.2019.
2. Drive Calculator [Электронный ресурс]. – Ганновер : Christian Persson, 2019. – URL : <http://www.drivcalc.de/> – 10.05.2019.
3. Как построить первый квадрокоптер ничего об этом не зная или все, что вы хотели об этом узнать, но стеснялись спросить [Электронный ресурс]. – Воронеж : Роман Фильчиков, 2014. – URL : http://www.parkflyer.ru/ru/blogs/view_entry/3914/ – 10.05.2019.

Кознова А. Н., Седлецкая С. Э.

Рыбинский государственный авиационный технический университет
(г. Рыбинск, Россия)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ОСНОВЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Аннотация. Обоснование актуальности совершенствования программного обеспечения, положенного в основу работы автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов, сравнительный анализ отечественных разработок в этой области.

Ключевые слова: автоматизированная система контроля и учета энергоресурсов, АСКУЭ, программное обеспечение, учет, анализ и оптимизация расхода энергоресурсов, хранение информации и отчеты.

Производственные предприятия для непосредственных нужд могут потреблять количество электроэнергии, сравнимое с необходимым для обеспечения города. Таким образом возникает необходимость в автоматизированной системе контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ). Эта система отвечает задачам наиболее эффективного распределения электрической энергии, исключая ошибки, обусловленные человеческим фактором, изменения показателей и норм качества электрической энергии [1], а также оптимизации потребления энергии.

Для лучшего понимания области исследования изучены имеющиеся разработки в данной области. Анализ результатов патентного поиска [2] показал, что АСКУЭ очень востребованы как на бытовом уровне, так и на промышленном. Изобретатели в своих разработках применяют различные методы технических решений для более точного учета электрической энергии. Большинство моделей направлены на упрощение обращения пользователя с данными системами, минимизацию размеров и упрощения вычислительной составляющей систем. Как правило, разрабатывается само устройство учета, но смысл АСКУЭ именно в программном оснащении, позволяющем оперативно собирать информацию с устройств, передавать ее на серверы, составлять планы потребления и подачи электроэнергии, оптимизировать расход энергоресурсов, минимизировать потери и, как следствие, снизить финансовые затраты.

В общем случае система АСКУЭ включает в себя четыре элемента. Первым элементом можно назвать микропроцессорные устройства учета энергии и мощности, способные учитывать мощность, активную и реактивную энергию, фиксировать максимальные значения в заданном временном интервале, сохранять в памяти данные, полученные в результате работы. Кроме того, большинство устройств могут измерять качественные параметры энергии: частоту, напряжение, провалы напряжения и другие [3].

Вторым элементом АСКУЭ принято считать коммуникации – это выделенные каналы связи и различная телекоммуникационная аппаратура (модемы, мультиплексоры, радиомодемы и т.п.).

Третьим элементом АСКУЭ являются компьютеры, оснащенные специализированным программным обеспечением, необходимым для сбора и передачи данных.

Четвертый элемент – непосредственно программное обеспечение, осуществляющее обмен данными с поставщиками и другими предприятиями. Именно программное обеспечение и требует более пристального внимания.

В настоящее время создано большое количество специализированных программ для АСКУЭ, которые обеспечивают сбор информации с устройств учета, выполняют анализ и передачу полученных данных. В качестве примера рассмотрим программное обеспечение отечественных разработчиков: «Энергия Альфа» и компании «ЭНФОРС» (для предприятий и онлайн версию).

Программный Комплекс «Энергия Альфа» разработан ООО «Инженерный центр «ЭНЕРГОАДИТКОНТРОЛЬ» [4], максимально соот-

ветствует ГОСТ Р 8.596–2002, обеспечивает тщательное метрологическое обеспечение. Он в автоматическом режиме выполняет измерение расхода электроэнергии и мгновенных параметров сети, обеспечивает хранение, обработку и анализ обобщенной информации.

Основными преимуществами программного комплекса «ЭНЕРГИЯ АЛЬФА» можно считать масштабность и охват обширных территорий (распределенные по всей стране десятки тысяч точек учета); при замене оборудования изменение описания точек учета выполняется автоматически; прием/отправка макетов по почте с защитой с помощью электронно-цифровой подписи; экспорт отчетов в наиболее популярные форматы XLS, PDF, DOC, HTML, XLS, XML, JPG, CSV.

Версия программного обеспечения «АСКУЭ Предприятия», разработанная «ЭНФОРС» представляет собой решение для коммерческого и технического учета энергоресурсов. ПО обеспечивает сбор данных в единую базу информации со всех точек учета различных ресурсов: электроэнергии, газа, воды, тепла, стоков и пр. Поддержка множества различных приборов учета снижает стоимость и время внедрения данного продукта [5].

«АСКУЭ Предприятия» выполняет сбор данных с приборов учета, шлюзов, модемов различных производителей. При этом могут быть использованы различные каналы связи: CSD/GPRS, сеть Ethernet, радиоканал, рс и т.п. Данное программное обеспечение может работать с любыми приборами учета, представленными на рынке. Основными преимуществами данной версии можно считать консолидацию информации от различных приборов учета, независимо от производителя; обеспечение WEB-доступа к данным; возможность индивидуальной настройки программного обеспечения для каждого предприятия.

Другой вариант программного обеспечения от «Энфорс» называется «Энфорс-Онлайн» и представляет собой автоматизированную систему учета энергоресурсов, основанную на облачных технологиях. Положенная в основу разработки Web-платформа работает с использованием сети Интернет, обеспечивает возможность доступа к данным из любой точки мира с помощью личного кабинета. Программное обеспечение «Энфорс-Онлайн» устанавливается на мощном сервере в надежно защищенном дата-центре, что обеспечивает хранение всех данных и выполнение сложных аналитических расчетов.

Онлайн-платформу удобно использовать как АСКУЭ для СНТ, УК, ТСЖ, гаражных кооперативов и т.п., а также всем категориям населения для своевременного учета, анализа и снижения расходов.

Преимуществами использования «Энфорс-Онлайн» являются возможность учета всех энергоресурсов; отсутствие необходимости в дополнительном оборудовании, так как для доступа к системе требуется только подключение к сети Интернет; доступное представление результатов аналитических расчетов; обеспечение безопасности и полной конфиденциальности данных, а также бесплатная техническая поддержка.

В заключение можно сделать вывод о том, что, несмотря на то, что приведенные разработки ориентированы на разных потребителей, все они направлены на осуществление мониторинга расхода электроэнергии и формирование статистики потребления. Данные функции позволяют в реальном времени получать достоверную информацию, в том числе и отчеты требуемого формата, исключив из цепочки снятия и расчета показателей человека. АСКУЭ в совокупности с программным обеспечением повышают надежность передачи информации, помогают оптимизировать расход электроэнергии, чем существенно снизить финансовые затраты на электроресурсы.

Список литературы и источников

1. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 20 с. : ил.
2. Патентная аналитика [Электронный ресурс] / ФИПС – Федеральный институт промышленной собственности; – Электрон. дан. – М., 2019. – URL : <https://patent-analytics.fips.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
3. ГОСТ Р 8.655–2009. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Средства измерений показателей качества электрической энергии. Общие технические требования (с изменением № 1). – Введ. 2010-07-01. – М. : Стандартинформ, 2009. – 36 с.
4. Программный комплекс «Энергия Альфа» – Инженерный центр «ЭнергоАудитКонтроль» [Электронный ресурс] / Инженерный центр «ЭНЕРГОАУДИТКОНТРОЛЬ». – Электрон. дан. – М., 2019. – URL : <http://www.ackye.ru/activities/ea/>. – Загл. с экрана.
5. ООО «ЭНФОРС» Программное обеспечение АСКУЭ [Электронный ресурс] / «ЭНФОРС». – Электрон. дан. – Воронеж, 2019. – URL : http://nforceit.ru/products/programmnoe_obespechenie_askue. – Загл. с экрана.

Лицин К. В., Утямишев Д. М.

Новотроицкий филиал национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (г. Новотроицк, Россия)

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ И ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР

Аннотация. Разработано устройство автоматической подачи шлакообразующей смеси. Представлено описание разработанной для его управления системы удаленного контроля на базе объектно-ориентированной среды программирования.

Ключевые слова: автоматизация, объектно-ориентированное программирование.

В настоящее время смеси подаются в кристаллизатор МНЛЗ № 2, который расположен в электросталеплавильном цехе (ЭСПЦ) АО «Уральская Сталь», вручную. Очевидно, что скорость выполнения представленной операции достаточно низкая, к тому же сама по себе операция считается еще и физически тяжелой, монотонной и опасной.

В электросталеплавильном цехе АО «Уральская Сталь» изготавливаются слябы, сечение которых составляет 190×1200 мм и 270×1200 мм. Согласно проведенному обзору и анализу месторасположения установки была разработана конструкция, представленная на рис. 1 [1, 2].

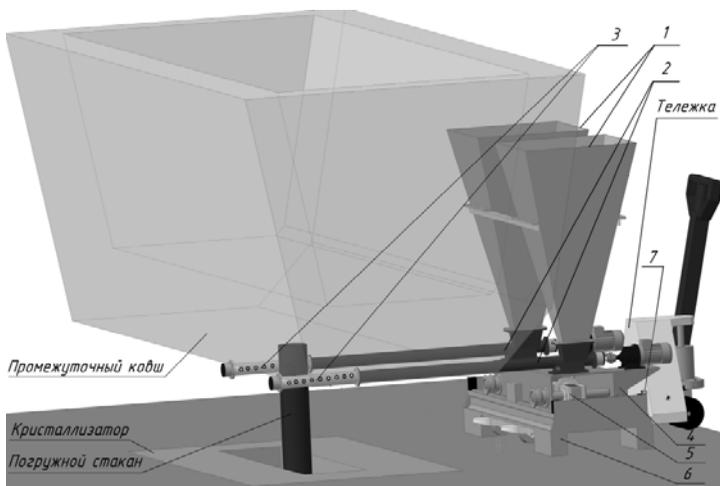


Рис. 1. Разработанное устройство подачи смеси:

1 – бункера; 2 – дозаторы со шнеком; 3 – насадки с выходными отверстиями; 4 – тележка; 5 – механизм передвижения; 6 – рама; 7 – датчики ограничения хода

Шнековые дозаторы 2 располагаются горизонтально и устанавливаются в нижней части бункеров 1. Смесь подается через шнеки и выходит через отверстия насадок 3. Механизм передвижения тележки 4 включает в себя трансмиссию и четыре двухреберных колеса, два из которых приводных. Тележка опирается на раму 6, а последующее ее ограничение движение будет выполняться с помощью датчиков 7.

Целью данной статьи является разработка автоматической системы перемещения тележки и подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор.

Для создания автоматической системы передвижения тележки вдоль широкой стенки кристаллизатора был составлен алгоритм, представленный на рис. 2.

При перемещении тележек на расстояние, равное 0,4–0,45 ширины сляба, автоматически осуществляется реверс привода и тележки начинают движение в обратном направлении.

В алгоритме представлен датчик, формирующий сигнал окончания движения вперед (КВ) и датчик, показывающий окончание движения назад (КН). Алгоритм реализуется с помощью индуктивных датчиков E2A-M30KS100-WP-C1 5М. Данная модель датчиков имеет высокую степень защиты, что особенно важно для применения ее в тяжелых условиях цеха [3, 4].

Разработанное устройство подачи смеси функционирует с помощью компьютерной программы. Она управляется пультом, изображенным на рис. 3. Так же все происходящие процессы информируются включением датчиков.

Активация устройства задается при нажатии кнопки 6. О том, что программа включена, информируют зеленые индикаторы, расположенные слева и справа от самой кнопки. Запустив программу, активируются кнопки «←» и «→», отвечающие за перемещение платформы с бункерами. Эти кнопки реализуют за ручной режим. За уровень шлакообразующей смеси в бункерах отвечают датчики 4. О движении платформы нас информируют датчики 1. Платформу возможно остановить с помощью кнопки «Р», нажав которую загорается датчик 2. Кнопки «↑» и «↓» отвечают за подачу ШОС через шнеки. Процесс сопровождается подачей сигнала на датчики 3. Зеленый цвет информирует о том, что идет подача, а красный – нет. При необходимости тележка может быть остановлена с помощью кнопки «STOP», нажав на которую загорится лампа 5.

Программа позволяет реализовать ручной и автоматический режим управления «AUTO» [5].

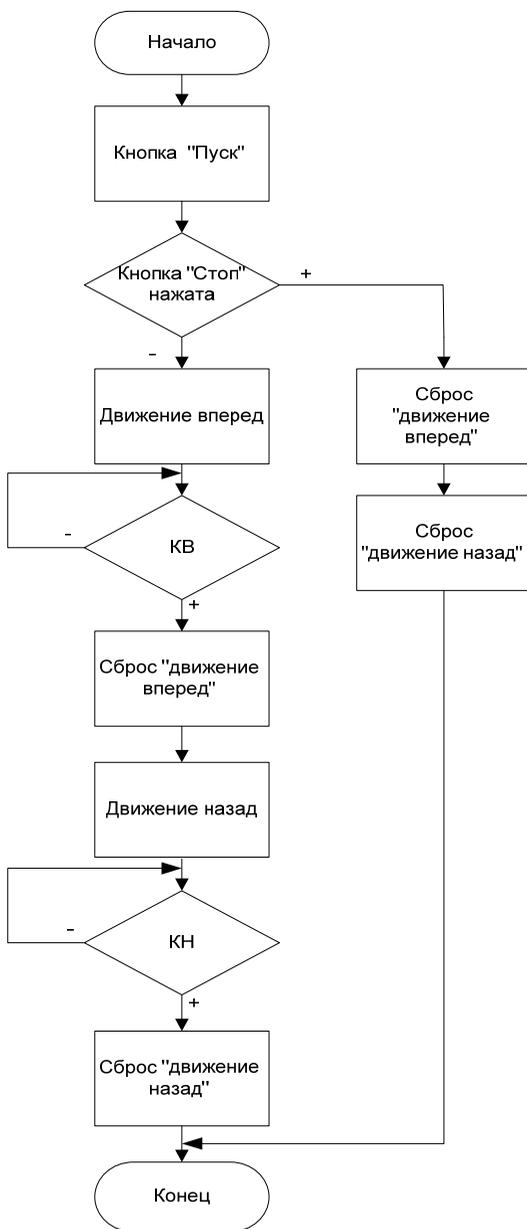


Рис. 2. Алгоритм работы механизма перемещения тележки

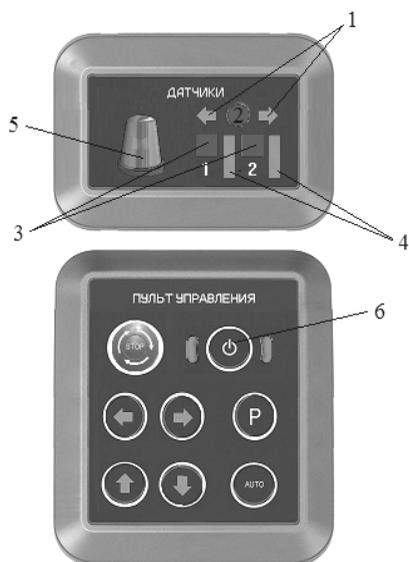


Рис. 3. Пульт управления и табло датчиков:

- 1 – датчик движения платформы; 2 – датчик остановки;
 3 – датчик подачи ШОС; 4 – датчик уровня ШОС в бункерах;
 5 – лампа аварийной остановки; 6 – кнопка включения модели

Список литературы

1. Ковальчук, Т. В. Исследование электропривода системы подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок / Т. В. Ковальчук, А. А. Гусев, К. В. Лицин // Известия Высших Учебных Заведений. Электромеханика. – 2018. – Т. 61, № 5. – С. 38 – 43.
2. Разработка системы автоматизированного электропривода для подачи шлакообразующих смесей в кристаллизатор МНЛЗ-2 АО «Уральская Сталь» / Д. Р. Ганин, К. В. Лицин, А. А. Гусев, Т. В. Ковальчук // Наука и производство Урала. – Новотроицк : НФ НИТУ «МИСиС», 2018. – № 14. – С. 51 – 54.
3. Ляпушкин, С. В. Повышение эффективности управления электроприводом автоматизированного комплекса дозирования сыпучих материалов : дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / С. В. Ляпушкин. – Томск, 2015. – 146 с.

4. Ключев, В. И. Теория электропривода : учебник для вузов / В. И. Ключев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.

5. Абдулвелеева, Р. Р. Имитационная модель устройства для подачи слябов на продольную порезку. Научное электронное издание. Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] : тез. докл. Четвертой всерос. молодежной науч. конф. / Р. Р. Абдулвелеева, Д. М. Утямишев ; под ред. Д. Ю. Муромцева и др. ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – С. 120–121.

Логачева В. Н.

Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Россия)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Сегодня для описания процессов, происходящих при эксплуатации электрооборудования, используются специальные программы. С помощью них можно реализовать процессы, которые происходят в реальном времени. К таким программам можно отнести программу MatLab.

К примеру, можно выполнить ряд некоторых действий с трехфазным трансформатором. Что и будет рассмотрено далее.

В данной работе в качестве исследуемого объекта был рассмотрен трансформатор ТМГ 6...10 кВ мощностью 250 кВА.

Будет проведен опыт холостого хода. Холостой ход – режим работы трансформатора при разомкнутой вторичной обмотке $Z_H = \infty$, $I_2 = 0$. Далее необходимо произвести расчет параметров трансформатора мощностью 250 кВА для реализации задуманного. Зададимся исходными данными. $U_{1л} = 1000$ В – первичное линейное напряжение, $U_{2л'} = 400$ В – вторичное линейное напряжение, $S_{трном} = 250\ 000$ В – мощность трансформатора. Все величины взяты из паспортной документации к трансформатору.

Рассмотрим схему опыта холостого хода трансформатора мощностью 250 кВА.

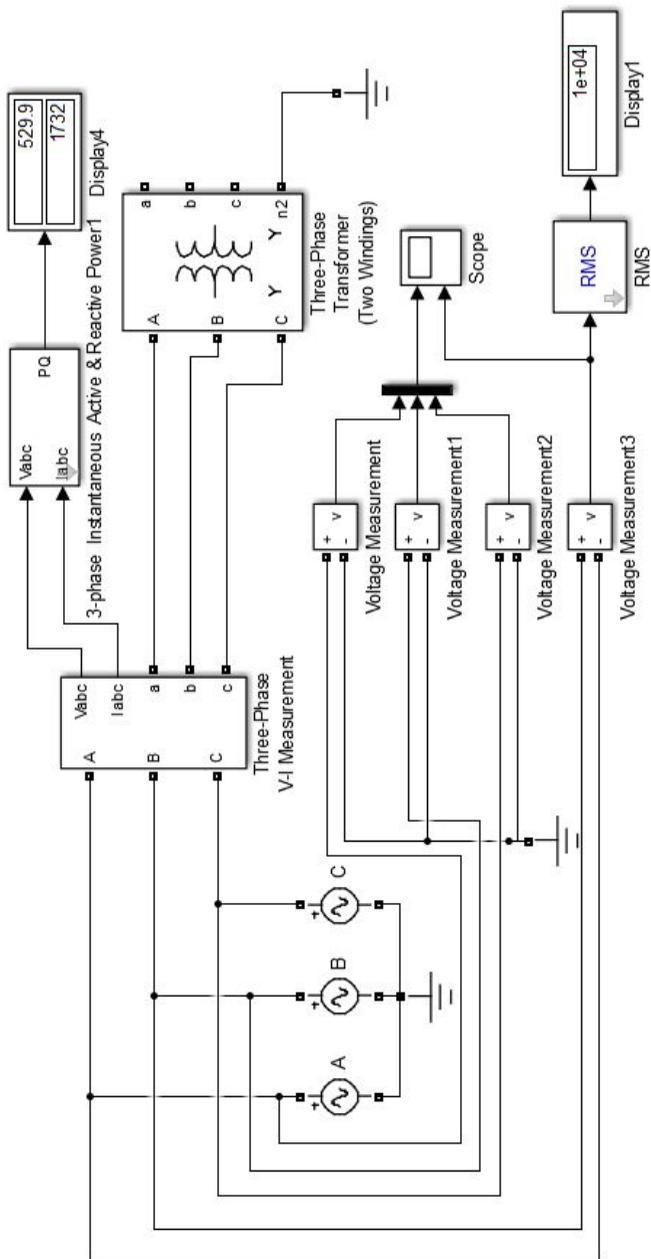


Рис. 1. Опыт холостого хода в программе MatLab

В таблице, представленной ниже, приведены все необходимые расчеты параметров трансформатора.

1. Расчет параметров трансформатора

$K_{\text{тр}} = \frac{U_{1\text{л}}}{U_{2\text{л}}}$	$K_{\text{тр}} = \frac{1000}{400} = 25$
$I_{1\text{номф}} = \frac{S_{\text{трном}}}{\sqrt{3} U_{1\text{л}}}$	$I_{1\text{номф}} = \frac{250\,000}{\sqrt{3} \cdot 10\,000} = 14,434 \text{ A}$
$I_{2\text{номф}} = K_{\text{тр}} \cdot I_{1\text{номф}}$	$I_{2\text{номф}} = 25 \cdot 14,434 = 360,84 \text{ A}$
$U_{1\phi} = \frac{U_{1\text{л}}}{\sqrt{3}}$	$U_{1\phi} = \frac{1000}{\sqrt{3}} = 5773,5 \text{ В}$
$U_{\text{кф}} = \frac{U_{1\text{к}} U_{1\phi}}{100}$	$U_{\text{кф}} = \frac{4,5 \cdot 5773,5}{100} = 259,808 \text{ В}$
$r_{\text{к}} = \frac{P_{\text{к}}}{3 I_{1\text{номф}}^2}$	$r_{\text{к}} = \frac{3700}{3 \cdot 14,434^2} = 5,92 \text{ Ом}$
$X_{\text{к}} = \sqrt{Z_{\text{к}}^2 - r_{\text{к}}^2}$	$X_{\text{к}} = \sqrt{18^2 - 5,92^2} = 17 \text{ Ом}$
$r_1 = \frac{r_{\text{к}}}{2}$	$r_1 = \frac{5,92}{2} = 2,96 \text{ Ом}$
$x_1 = \frac{x_{\text{к}}}{2}$	$x_1 = \frac{16,998}{2} = 8,499 \text{ Ом}$
$r_2 = \frac{r_1}{K_{\text{тр}}^2}$	$r_2 = \frac{2,96}{25^2} = 0,0047 \text{ Ом}$
$X_2 = \frac{X_1}{K_{\text{тр}}^2}$	$X_2 = \frac{8,499}{25^2} = 0,0136 \text{ Ом}$
$I_{0\phi} = I_0 \frac{I_{1\text{номф}}}{100}$	$I_{0\phi} = 1,2 \frac{14,434}{100} = 0,173 \text{ A}$
$x_m = \frac{U_{1\text{л}}}{I_{0\phi}}$	$x_m = \frac{10\,000}{14,434} = 57\,735,027 \text{ Ом}$

$r_m = \frac{U_{1л}^2}{P_0}$	$r_m = \frac{10\,000^2}{530} = 188\,679,245 \text{ Ом}$
$L_{xm} = \frac{x_m}{2\pi f}$	$L_{xm} = \frac{57\,735,027}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 183,776 \text{ Гн}$
$L_{x1} = \frac{x_1}{2\pi f}$	$L_{x1} = \frac{8,499}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0271 \text{ Гн}$
$L_{x2} = \frac{x_2}{2\pi f}$	$L_{x2} = \frac{0,135}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,000043 \text{ Гн}$

Проводим опыт трансформатора при активно-индуктивной нагрузке (рис. 1). На экране дисплея выводится значение потерь, что совпадает с паспортными данными трансформатора. Но этих данных недостаточно, чтобы провести комплексную диагностику оборудования, следовательно, программный комплекс MatLab целесообразно использовать с другим видом диагностики, например, тепловым посредством применения тепловизора.

Список литературы

1. Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования / А. С. Карандаев, С. А. Евдокимов, О. И. Карандаева и др. – 2008. – № 26. – С. 26.
2. Крупные силовые трансформаторы: контроль состояния в работе и при ревизии. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2010. – 88 с.
3. Gawliczek Przemysław, Przygodzki Maksymilian: Practical aspects of selected UHV power transformers operation. www.energetyka.eu (359-382) 2016.
4. Митрофанов, С. В. Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры / С. В. Митрофанов, И. К. Еремеев // Материалы Всерос. науч.-метод. конф., 29 – 31 янв. 2014 г., Оренбург ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Оренбург. гос. ун-т». – Оренбург, 2014. – С. 361 – 365.
5. Митрофанов, С. В. Тепловизионная диагностика трансформаторного оборудования / С. В. Митрофанов, И. К. Еремеев, Е. В. Бакаев

ва // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : тр. VII Всерос. науч.-техн. конф.

6. Особенности мониторинга технического состояния основной изоляции высоковольтных вводов и трансформаторов тока / П. Д. Андриенко, А. А. Сахно, С. П. Конограй и др. – 2014. – № 1. – С. 43 – 45.

Манин А. В., Вайнер Д. Б.

Рыбинский государственный авиационный
технический университет имени П. А. Соловьева
(г. Рыбинск, Россия)

МОНИТОРИНГ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ЦЕХА НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО АНАЛИЗА

Аннотация. Приведена структура мониторинга распределительной сети с передачей информации по локальной вычислительной сети. Управляющие воздействия на силовые корректирующие устройства формируются контроллером с применением матричной обработки информации.

Ключевые слова: мониторинг, статический компенсатор реактивной мощности, локальная вычислительная сеть, матрицы параметров электрической сети.

Концепция Smart Grid направлена на создание условий по энергосбережению и энергоэффективности при транспортировке и потреблении электрической энергии. Одним из основных факторов, обеспечивающих как показатели качества электроэнергии, так и уровни напряжения в узлах подключения потребителей, являются потоки реактивной мощности. Для обеспечения баланса реактивной мощности вблизи основных ее потребителей устанавливают дополнительные источники, генерирующие реактивную мощность Q_{KY} и тогда

$$\sum Q_{Г} + \sum Q_{KY} = \sum Q_{Н} + \sum \Delta Q, \quad (1)$$

где $\sum Q_{Г}$, Q_{KY} – генерируемые реактивная и дополнительная мощности (без учета мощностей собственных нужд электрических станций); $\sum Q_{Н}$ – суммарная реактивная мощность потребителей; $\sum \Delta Q$ – алгебраическая сумма потерь реактивной мощности и зарядной мощности в сетях.

В режиме минимальных нагрузок в системе возникает избыток реактивной мощности и равенство (1) нарушается, в результате напря-

жения в узлах сети и у потребителей повышается. Следовательно, возникает необходимость оптимизации режима реактивной мощности в системе электроснабжения промышленного цеха (предприятия), выбора типа и мощности компенсирующих устройств и места их установки.

Для снижения потоков реактивной мощности в элементах сети служат различные компенсирующие устройства (КУ), подключаемые в узлах электрической сети предприятия. Регулируя режим работы КУ в соответствии с характером изменения реактивной мощности нагрузок в узлах сети, можно поддерживать напряжение в этих узлах в заданных пределах и снижать потери активной мощности и, соответственно, потери электрической энергии в элементах сети.

Наиболее эффективным вариантом КУ при сбросах и набросах реактивной мощности является включение быстродействующих статических компенсаторов реактивной мощности (СКРМ).

Как правило, для управления СКРМ, включенного в узел сети, используется автономная система управления, которая может и не учитывать состояние уровней напряжения в более удаленных узлах распределенной сети. Для более корректного влияния на сеть с целью поддержания требуемого напряжения или коэффициента мощности СКРМ должен быть подключен в конкретный расчетный узел сети, а управление им должно осуществляться управляющим сигналом, оценивающим состояние всей контролируемой сети.

Предлагается системы управления СКРМ и других корректирующих устройств включить в мониторинг по состоянию параметров сети, в результате которого формируется оптимально управляющее воздействие на блоки управления СКРМ. Структурная схема мониторинга сети с СКРМ, включающая локально вычислительную сеть, представлена на рис. 1.

Информация о состоянии параметров сети поступает от датчиков тока и напряжения, размещенных в узлах распределительной сети и посредством модуля передачи данных через локальную вычислительную сеть передается в блок мониторинга и контроллер обработки данных. Параметры состояния сети сравниваются с заданными оператором значениями, в результате формируются управляющие сигналы на соответствующие исполнительные корректирующие устройства: СКРМ, симметрирующее устройство, блоки косинусных конденсаторов и др. [2]. Управляющая информация аналогично передается через локальную вычислительную сеть на блоки управления исполнительными устройствами. Передача данных мониторинга осуществляется через локально-вычислительную сеть с использованием Ethernet технологий, которая имеет легко масштабируемую архитектуру.

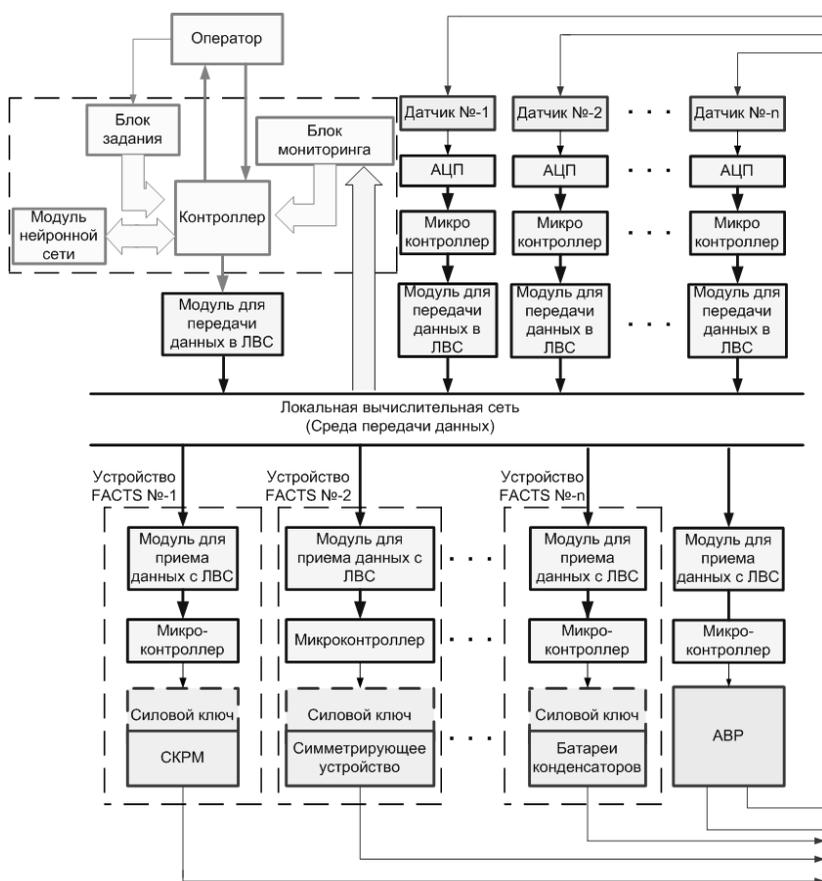


Рис. 1. Структура системы мониторинга распределительной сети цеха

В предлагаемом решении задачи мониторинга интерес представляет обработка информации в контроллере параметров распределительной сети на основе метода объединенных матриц [1]. Исследуемую электрическую сеть заменяют электромагнитной цепью, под которой понимают совокупность электрической и магнитной цепей, связанных системой обмоток.

Процессы в такой цепи описываются системой уравнений для комплексных переменных

$$\begin{aligned}
 E_K &= Z_K^E I_K + Z_K^{EM} \Phi_K \\
 0 &= Z_K^{ME} I_K + Z_K^M \Phi_K,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где Z_K^E , Z_K^M , Z_K^{EM} , Z_K^{ME} – матрицы контурных сопротивлений электрической цепи, магнитной цепи, электромагнитной и магнито-электрической связи, E_K , I_K – матрицы контурных э.д.с. и контурных токов.

Решением этой системы является матрица контурных токов

$$I_K = \left[Z_K^E - Z_K^{EM} (Z_K^M)^{-1} Z_K^{ME} \right]^{-1} E_K. \quad (3)$$

Матрицы контурных сопротивлений, э.д.с. и токов связаны с матрицами ветвевых сопротивлений Z_K^E , ветвевых э.д.с. E_B и токов I_B , соотношениями

$$E_K = \Gamma_{EE} E_B, \quad I_B = \Gamma_{EE}^T I_K, \quad Z_K^E = \Gamma_{EE} Z_B^E \Gamma_{EE}^T, \quad (4)$$

где Γ_{EE} – контурно-ветвевая матрица электрической цепи.

Параметры проводных соединений распределительной сети конкретного цеха заносятся в данные матрицы сопротивлений, на основе которых формируются значения токов, мощностей и напряжений в требуемых узлах сети.

Заключение. Рассмотренное решение мониторинга распределительной сети с использованием для передачи данных и управляющих сигналов по локальной вычислительной сети и применение матричного метода анализа электрической цепи позволяет решать задачи оптимизации параметров сети по критериям, связанным с минимизацией потерь на реактивную мощность с целью выбора и установки устройств компенсации реактивной мощности и управления ими в цехах с резкопеременным характером потребления электрической энергии.

Список литературы

1. Юдин, В. В. Расчет линейных электромагнитных цепей методом объединенных матриц / В. В. Юдин // Электричество. – 1987. – № 7. – С. 63 – 67.
2. Манин, А. В. Статический компенсатор реактивной мощности на базе магнито-вентильных элементов / А. В. Юдин, А. Н. Грошев, О. А. Москалева // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии имени П. А. Соловьева : сб. науч. тр. – Рыбинск, 2011. – № 1(19). – С. 117 – 122.

Моторина Н. П., Захарова А. В., Кулешова К. В.
Старооскольский технологический институт (филиал) НИТУ МИСиС
(Старый Оскол, Белгородская обл., Россия)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДУТЬЕВОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Аннотация. Рассмотрено электрооборудование котельной малой и средней мощности. Выделены функции элементов схемы дутьевого вентилятора. Произведен выбор оборудования.

Ключевые слова: электродвигатель; частотный преобразователь; регулирование производительности; экономия энергоресурсов; входной дроссель.

Рассмотрим автоматизацию дутьевого вентилятора котельной. Вентилятор дутьевой центробежный котельный ВДН-10 одностороннего всасывания предназначен для подачи воздуха в топку паровых и водогрейных котлов малой и средней мощности (данные см. в табл. 1). Возможно применение вентилятора ВДН-10 для отсасывания дымовых газов из топок газомазутных паровых и водогрейных котлов с уравновешенной тягой; в технологических установках предприятий различных отраслей, с возможностью регулирования производительности; для перемещения чистого воздуха на санитарно-технические и производственные нужды. В комплект дутьевого вентилятора встроен асинхронный электродвигатель, управление которым рассмотрим в нашем исследовании (данные см. табл. 2).

Питание и управление электродвигателем будет осуществляться от частотного преобразователя типа IVD303B43A (табл. 3) двигателей вентиляторов для выполнения следующих функций: регулировки давления воздуха для оптимизации работы вентиляторов; экономии

Таблица 1

Объект	Дутьевой вентилятор котельной
Наименование	ВДН-10
Производительность, м ³ /ч	20 250
Полное давление, Па	3410
Максимальный КПД, %	83
Частота вращения, об/мин	1500

энергетических ресурсов; долгосрочности службы механической и электрической части технологического оборудования; уменьшения денежных затрат на плановые ремонтно-предупредительные процедуры; ведения оперативного управления, принципиального контроля за техническими параметрами и т.п.

Схема частотного преобразователя будет иметь входной дроссель переменного тока типа ДТС – 0,19/80 для снижения вероятности повреждения преобразователя из-за импульсных перенапряжений или большого дисбаланса фазного напряжения (более 4%) в линии питания. Кроме того, за счет дросселя происходит приближение к синусоиде формы входного тока преобразователя, что, в свою очередь, уменьшает действующее значение этого тока. Импульсные перенапряжения могут быть вызваны следующими факторами:

- установкой рядом с приводом мощного силового электронного оборудования (приводов постоянного и переменного тока, промышленных выпрямителей, установок улучшения коэффициента мощности и т.п.);
- электродвигателями с запуском непосредственно от сети;
- авариями в системе электроснабжения;
- использованием сварочного оборудования рядом с преобразователями.

Таблица 2

Электродвигатель	АИР180М4
Частота, Гц	50
Мощность, кВт	30
Напряжение сети, В	380
Коэффициент мощности, $\cos\varphi$	0,87
Номинальная частота вращения, об/мин	1470
Номинальный ток, А	57,3
КПД, %	91,5
Режим работы	S1
Класс изоляции	F (максимальная температура 150 °С)
Класс защиты	IP55

Таблица 3

Частотный преобразователь	IVD303B43A
Вход питания	3-фазный 380В, 50/60 Гц
Выходная мощность, кВт	30
Выходной ток, А	65
Перегрузочная способность (60 с), А	97,5
Мощности подключаемых двигателей, кВт	22-30
Режим управления	Преобразование напряжение-частота
ПИД-регулятор	Встроенный ПИД-регулятор
RS485	Протокол связи MODBUS (порт RS485)
PLC-режим	Управление скоростью вращения по управляющей программе, записанной в памяти преобразователя
Настройка частоты	Аналоговое задание 0...10 В, 4...20 мА, настройка с помощью потенциометра панели управления, с помощью протокола связи RS485 и настройка с помощью электронного потенциометра МОР (UP/DOWN)

Для преобразователя частоты были подобраны и встроены производителем три пары резисторов модели ZC-BR-2000W-64, тормозной резистор на 20 Ом. Выберем и установим на полное давление 3410 Па (34,1 мбар) дифференциальный датчик давления воздуха LGW 150 A2 с диапазоном настройки 30...150 мбар.

Частотный преобразователь разместим в электрическом шкафу размерами 650×300×215 с учетом правил установки и электромонтажа. Для защиты от ненормальных и аварийных режимов (коротких замыканий) устанавливается автоматический выключатель соответствующий условиям эксплуатации C120N.

Большая часть электроприводов используется в простых агрегатах – вентиляторах, насосах, транспортерах, конвейерах и т.д. Этой группе до недавнего времени уделялось мало внимания с точки зрения энергосбережения, так как в них обычно используются самые простые электроприводы с не всегда правильно выбранными двигателями.

Именно эта группа содержит громадный резерв энерго- и ресурсосбережения. Считается, что цена потребляемой за год средним промышленным нерегулируемым двигателем электроэнергии в пять раз превосходит цену за сам двигатель. За время службы двигателей в 10 – 20 лет энергетическая составляющая затрат в десятки раз превосходит капитальные затраты. Выбор энергоэффективных электродвигателей, управляемых от преобразователей и экономных электроприводов является особенно важной стороной оптимизации технологических процессов.

Предложенная схема автоматизации электропривода дутьевого вентилятора (рис. 1) улучшит работу вентилятора, позволит сэкономить на ремонте, защитит оборудование от ненормальных условий эксплуатации и аварийных режимов работы, продлит срок службы электродвигателя и технологического оборудования, оптимизирует технологические процессы, позволит вести контроль текущих параметров технологического процесса.

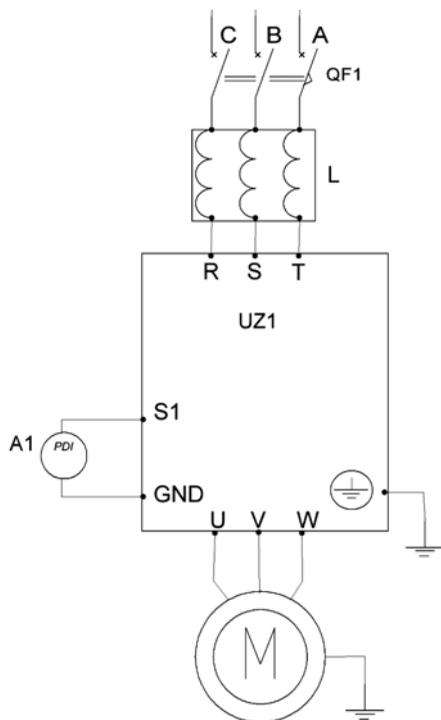


Рис. 1. Принципиальная схема автоматизации электропривода

Назмутдинов И. С.
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и
Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия)

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Представлена методика, позволяющая определить рациональные пути и способы восстановления работоспособности радиоэлектронной техники и на основе их сформировать ЗИП довольствующего органа.

Ключевые слова: радиоэлектронная техника, система технического обслуживания и текущего ремонта, ремонтный орган, коэффициент готовности, уровень работоспособности.

В настоящее время на вооружении находятся образцы радиоэлектронной техники (РЭТ) со значительными сроками эксплуатации. В условиях интенсивной эксплуатации надежностные характеристики техники ухудшаются, что приводит к увеличению затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт.

При этом классическая система технического обслуживания и текущего ремонта, базирующаяся на календарном и регламентном принципах планирования, является крайне ресурсоемкой и не учитывает тенденции снижения надежностных характеристик РЭТ в сложившихся условиях, для которых характерными являются: значительная выработка ресурса РЭТ, некомплект штатного квалифицированного обслуживающего персонала и недостаточное обеспечение необходимыми материальными ресурсами [1].

Для организации вопросов поддержания РЭТ в готовности к применению, ремонта и возвращения в строй при неисправностях создается система технического обслуживания и текущего ремонта.

Своевременное проведение технического обслуживания и текущего ремонта РЭТ невозможно без нормального функционирования системы обеспечения запасными элементами. Функционирование системы предусматривает организацию пополнения комплектов ЗИП с довольствующего органа в лице предприятий промышленности, так и за счет проведения ремонта в ремонтных органах. Существующая проблема обеспечения ремонта запасными элементами порождена следующими недостатками системы:

- низкая оперативность пополнения комплектов ЗИП за счет поставок с предприятий промышленности;

– отсутствием ремонтных органов во всем стволе системы технического обслуживания;

– ограниченными возможностями пополнения комплектов ЗИП на образцах РЭТ из-за отсутствия запасов имущества довольствующего органа.

Отсутствие войсковых ремонтных органов, запасов комплектов ЗИП довольствующего органа не позволяет в полной мере поддерживать и восстанавливать эксплуатационно-технические характеристики РЭТ на требуемом уровне.

Таким образом, основой совершенствования подсистемы технического обслуживания и текущего ремонта является совершенствование методов формирования и автоматизированного управления системы обеспечения запасными элементами.

В качестве показателя, характеризующего вклад подсистемы технического обслуживания и текущего ремонта в систему более высокого уровня, выбран коэффициент готовности, который представляет собой вероятность того, что РЭТ окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение данных образцов по назначению не предусматривается [2].

$$K_{\Gamma} = \frac{T_0}{T_{\text{в}} + T_0} = \frac{T_0}{T_0 + T'_{\text{в}} + T_{\text{п}}} = K'_{\Gamma} K_3, \quad (1)$$

где T_0 – наработка образца ВВТ на один отказ; $T'_{\text{в}}$ – времени восстановления при неограниченном запасе ЗИП; $T_{\text{п}}$ – время простоя.

В качестве показателя, характеризующего готовность системы обеспечения запасными элементами обеспечить применение РЭТ к использованию по назначению, выбран коэффициент готовности ЗИП.

$$K_3 = 1 - \frac{T_{\text{в.ЗИП}}}{(T_{\text{о.ЗИП}} - T_{\text{в.ЗИП}})}, \quad (2)$$

где $T_{\text{в.ЗИП}}$ – средняя продолжительность отказа ЗИП; $T_{\text{о.ЗИП}}$ – среднее время между отказами ЗИП.

Данный показатель является характеристикой процесса обеспечения РЭТ элементами ЗИП и позволяет оценить долю простоев техники в ожидании запасных частей.

Совершенствование методики формирования и автоматизированного управления запасами делится на два этапа.

На *первом этапе* решается задача определения уровней работоспособности РЭТ. Это связано с необходимостью определения возможностей функционирования техники с пониженными тактико-техническими характеристиками, определения рациональных путей и способов восстановления работоспособности РЭТ системой технического обслуживания и текущего ремонта при наличии временных ограничений, а также определение необходимого количества ЗИП довольствующего органа для своевременного восстановления неисправной техники.

При решении данной задачи используется булева модель надежности, а также логико-вероятностный метод расчета надежности структурно-сложных систем [1].

На *втором этапе* решается задача формирования запасов довольствующего органа с учетом уровня работоспособности РЭТ.

Для решения данной задачи используется метод ABC – классификации (или закон Парето) [3].

ABC – классификация или метод ABC, известный также как метод или закон Парето (закон 80:20), является хорошо развитым инструментом классификации номенклатуры запаса в целях выявления степени воздействия состояния запаса на результаты деятельности организации.

Классификация ABC требует наличия системы распознавания номенклатуры запаса, который представляет собой перечень элементов входящих в состав образца ВВТ. ABC метод предполагает выполнение следующих этапов:

1 этап – выбор критерия классификации, который зависит от принятой стратегии комплектования ЗИП;

2 этап – расчет нарастающего итога значения критерия классификации по номенклатурным позициям;

3 этап – выделение групп классификации. Выделение групп осуществляется на основе закона Парето, утверждающего, что 80% значений качественного критерия определяется 20% количества выбранной совокупности элементов.

Таким образом, предлагаемая методика формирования и автоматизированного управления запасами довольствующего органа позволяет:

- определить рациональные пути и способы восстановления работоспособности РЭТ;
- сформировать ЗИП довольствующего органа, с учетом наличия общих элементов различных типов техники с различными рас-

пределениями наработки на отказ и с учетом определения минимальной совокупности элементов, которые обеспечивают функционирование РЭТ.

Список литературы

1. Барзилович, Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем : учебное пособие / Е. Ю. Барзилович. – М. : Высшая школа. 1982. – 231 с.
2. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М. : Издательство стандартов, 1989.
3. Стерлигова, А. Н. Управление запасами в цепях поставок / А. Н. Стерлигова. – М. : Инфра-М, 2008.

Наумова А. Ю.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. Представлен анализ известной структуры системы управления надежностью программного обеспечения информационно-измерительных систем и предложена модификация данной структуры с применением нейросетевых технологий для повышения точности оценки надежности программного обеспечения.

Ключевые слова: надежность программного обеспечения информационно-измерительных систем (ИИС), модели оценки надежности программного обеспечения, нейросетевые технологии, структура подсистемы управления надежностью программного обеспечения.

Введение. Применение программного обеспечения (ПО) на объектах энергосбережения требует изучения вопроса повышения его надежности. Каждая ошибка в ПО информационно-измерительных систем (ИИС) может привести к достаточно серьезным последствиям и даже аварийным ситуациям. Поэтому необходимо выработать рекомендации не только по оценке изменения параметров, определяющих надежность ПО ИИС, но и попытаться прогнозировать их изменение в процессе эксплуатации.

Результаты исследования. Увеличение сложности ИИС требует новых подходов при разработке моделей и алгоритмов для оценки и прогнозирования надежности их ПО. На данный момент существует множество моделей оценки надежности [1, 2]. Однако, не каждая модель может достоверно произвести оценку надежности ПО ИИС. Это связано с различием ИИС по некоторым признакам применения по назначению, в том числе по их фактическому техническому состоянию на момент контроля надежности ПО.

Известна система управления надежностью ПО ИИС, позволяющая производить подбор необходимой модели (моделей) оценки надежности программного обеспечения для конкретного состояния ИИС из совокупности моделей, хранящихся в блоке моделирования надежности [3]. Структура данной системы представлена на рис. 1.

В данной системе выбор модели осуществляется в зависимости от режима контроля надежности ИИС. Недостатком системы является то, что в ней не предусмотрена оценка изменения и прогнозирования параметров, определяющих надежность ПО ИИС. Для ИИС, имеющих конкретное техническое состояние в заданном режиме контроля надежности ПО, производится подбор модели (моделей) по ранее полученным результатам тестирования, а за счет внедрения в данную систему нейросетевых моделей, а именно – комплекса информационных технологий, основанных на применении искусственных нейронных сетей повышается точность и достоверность оценок контроля.

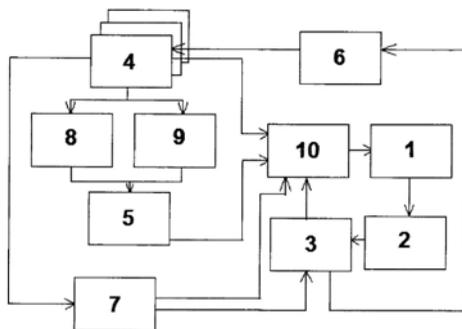


Рис. 1. Структура системы управления надежностью ПО ИИС:

- 1 – блок оценки вероятности и величины риска; 2 – блок классификации риска;
- 3 – управляющий блок; 4 – блок информационно-измерительных систем;
- 5 – экспертный блок хранения данных; 6 – блок управления техобслуживанием и ремонтами; 7 – блок внешних систем управления;
- 8 – блок хранения данных о сбоях; 9 – блок мониторинга основных средств;
- 10 – блок моделирования надежности

В предложенной подсистеме после блока моделирования надежности 10 данные поступают на блок 1 – блок оценки вероятности и величины риска, а в блоке 11, представляющего собой нейро-нечеткий модуль, будет осуществляться сортировка и выбор статистических данных, необходимых для реализации процесса моделирования в блоке 10; далее данные будут выбираться с учетом текущей информации, полученной из блоков 4, 7, 3, для формирования оптимальной выборки для моделирования надежности в блоке 10 по выбранной модели проверки. Вход блока 11 связан с выходом блока моделирования надежности 10, а выход блока 11 связан с входом блока 12. Блок 12 – модель многослойной нейронной сети, которая обучена в соответствии с контролируемым ПО на основе сгенерированных в произвольном порядке входных данных. Модифицированная подсистема представлена на рис. 2.

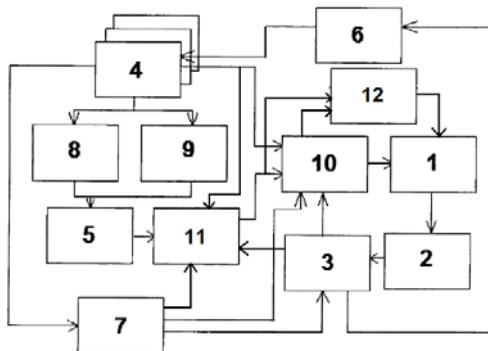


Рис. 2. Подсистема управления надежностью ПО ИИС с применением нейросетевых технологий

В результате обучения нейросеть становится симулированной моделью программного продукта. Впоследствии, когда будет доработан функционал разрабатываемого ПО и созданы новые версии приложения, потребуются проведение так называемого регрессионного тестирования. Данный вид тестирования направлен на проверку изменений, реализованных в приложении или окружающей среде. В качестве таких изменений может выступать новый функционал, починка дефекта, миграция на новую базу данных, операционную систему или сервер приложений. В таком случае проводится регрессионное тестирование с целью проверки, что в новой версии приложения исправно работает существующая функциональность. При применении в про-

цессе тестирования искусственных нейронных сетей при регрессионном тестировании, рассматриваемое ПО проверяется на тестовых данных для получения выходных результатов, которые затем сравниваются с результатами нейронной сети. Предположив, что новые версии программного продукта не изменяют существующий функционал, можно ожидать, что при одинаковых входных данных нейронная сеть и реальное приложение выдадут идентичные результаты. С помощью инструмента для сравнения можно будет сделать заключение о том, корректен ли вывод тестируемого приложения ПО. Также ввиду отсутствия гарантии того, что первоначальная версия является безошибочной. Сравнение результатов работы первоначальной и доработанной версии может пропустить случаи, где обе версии функционируют некорректно. Нейронные сети в данном случае обеспечивают дополнительный параметр для проверки надежности тестирования. Поскольку ПО, которое нейросеть будет обучена моделировать, было обновлено до новой доработанной версии, аналогичным образом нейронная сеть может классифицировать и новые данные.

Вывод. Таким образом, модификация, связанная с введением в подсистему управления надежностью программного обеспечения информационно-измерительных систем новых блоков с применением нейросетевых технологий, позволит повысить точность и достоверность оценок надежности за счет уменьшения погрешностей измерений.

Список литературы

1. Зырянов, Ю. Т. Оценка надежности программных модулей при испытаниях ИИУС / Ю. Т. Зырянов, О. В. Мельник, А. Ю. Наумова // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. 2-й Междунар. конф. с элементами научной школы. – 2015. – С. 104 – 106.
2. Чернышова, Т. И. Информационно-аналитическая система оценки и прогнозирования метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. Спец. выпуск (52), 2014. – С. 111 – 114.
3. Пат. РФ № 2013136010/08, 20.06.2014. Система управления надежностью программного обеспечения информационно-измерительных систем // Патент России № 141941. 2014. Бюл. № 17 / Мельник О. В., Зырянов Ю. Т.

АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАБОТЫ КАЛИБРОВОЧНОГО СТАНА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗУЕМОГО УПРАВЛЯЕМОГО ТИРИСТОРНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ВМЕСТО СИСТЕМЫ ГЕНЕРАТОР–ДВИГАТЕЛЬ

Аннотация. Посвящена анализу повышения производительности работы калибровочного стана. Описана система управления двигателем калибровочного стана и представлен расчет потерь при использовании системы генератор-двигатель.

Ключевые слова: генератор-двигатель, тиристорный преобразователь, калибровочный стан, синхронный двигатель.

В настоящее время все чаще наблюдаются установки с управлением электродвигателя на основе тиристорного преобразователя, что в несколько раз улучшает работу электродвигателя. Для этого необходимо сделать анализ на примере работы калибровочного стана за счет используемого управляемого тиристорного выпрямителя вместо системы генератор–двигатель. По технологии производства граненого прута требуется его калибровка на 1...2 мм. Под определенной температурой для достижения упругости поверхности используется стан с подвижной кареткой с встроенными зажимами, которая вытягивает прут заданной длины и формы через упор стана с вставной формой. Для поддержания определенной температуры, выделяемой в результате сильного трения прута при прохождении через форму упора, используется циркулирующее машинное масло. Каретка перемещается по станине способом «челнока» с помощью цепи, приводимой в движение реверсивным электродвигателем постоянного тока мощностью 250 кВт, и управляется концевыми датчиками через шкаф с релейно-контакторным оборудованием. В качестве питания двигателя применена система генератор–двигатель с ЭМУ, что позволяет плавно разгонять и одновременно создавать при необходимости требуемый тяговый момент каретки [2].

Рассмотрим систему управления двигателем калибровочного стана (рис. 1) [1].

Для возбуждения синхронного двигателя D_2 используется генератор G_1 , вращение которого осуществляется с помощью первично двигателя D_1 с постоянной частотой. С постоянной частотой двигатель D_2 вращает на своей синхронной скорости генератор G_2 , который выраба-

тывает напряжение на двигатель калибровочного стана Д₃. Напряжение, выдаваемое генератором Г₂, контролируется управляемым тиристорным преобразователем (УТП₂).

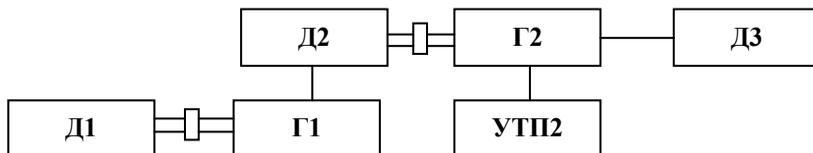


Рис. 1

Д₁ – первичный двигатель; Г₁ – генератор; Д₂ – вторичный двигатель;
Г₂ – генератор; УТП₂ – управляемый тиристорный преобразователь;
Д₃ – двигатель калибровочного стана

Расчет потерь при использовании системы генератор–двигатель с двигателем постоянного тока вместо управляемого тиристорного выпрямителя осуществлен следующим образом:

$$\Pi_{\text{гд}} = T \left[\sum_{i=1}^n \left(P_i \frac{1-n_i}{n_i} \right) - \sum_{m=1}^n \left(P_m \frac{1-n_m}{n_m} \right) \right], \quad (1)$$

где T – время работы агрегата за год, ч; P_i – мощность электродвигателя генератор–двигатель, кВт; n_i – коэффициент полезного действия генератор–двигатель; n_m – коэффициент полезного действия двигателя постоянного тока; P_m – мощность двигателя постоянного тока, кВт.

Рассмотрим данную формулу в нашем случае, где $T = 2920$ ч; $P_1 = 320$ кВт; $P_2 = 315$ кВт; $P_3 = 10$ кВт; $P_4 = 250$ кВт; $n_1 = 0,92$; $n_2 = 0,9$; $n_3 = 0,82$; $n_4 = 0,96$ [1].

Параметры двигателя постоянного тока на 250 кВт в расчетах не задействуются, так как взаимно высчитываются по формуле (1).

Данные значения подставим в формулу, приведенную выше (1)

Итого:

$$\Pi_{\text{гд}} = 2920 \cdot \left[320 \cdot \frac{1-0,92}{0,92} + 315 \cdot \frac{1-0,9}{0,9} + 10 \cdot \frac{1-0,82}{0,82} - 250 \cdot \frac{1-0,96}{0,96} \right].$$

Учитывая, что стоимость электрической энергии для предприятия составляет 3,43 рублей за кВт/ч, получаем [3]

$$\Pi_{\text{гд}} = 159\,432 \cdot 3,43 = 546\,851,76. \quad (2)$$

Таким образом, исходя из технологии производства калибровочного прута, использование управляемого тиристорного выпрямителя позволит за счет более быстрого достижения скорости калибровки улучшить качество выпускаемой продукции на 30%. Целесообразней использовать систему с управляемым тиристорным преобразователем для экономии энергоресурсов, что увеличивает ресурс электродвигателей и агрегата в целом [3].

Список литературы и источников

1. Аранчий, Г. В. Тиристорные преобразователи частоты для регулируемых электроприводов / Г. В. Аранчий. – 2012. – 130 с. (Воспроизведено в оригинальной авторской орфографии издания – 1968 г. Издательство «Энергия». – 52 с.)
2. Вольдек, А. И. Электрические машины : учебник для студентов высших технических учебных заведений / А. И. Вольдек. – 1978. <http://lib-bkm.ru/load/66-1-0-473>
3. Суптель, А. А. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод : учебное пособие / А. А. Суптель. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2004. – 164 с.

Пресняков М. Ю., Рябов А. В., Хакбердыев А. В.
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия)

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Аннотация. Рассмотрены внешние и внутренние факторы, влияющие на систему авиационной радиосвязи с точки зрения ее разведывательной защищенности. Проведенный анализ данных факторов направлен на выработку основных направлений и способов повышения разведзащищенности системы авиационной радиосвязи.

Ключевые слова: разведзащищенность, система связи.

Эффективность системы связи зависит от ряда свойств, отвечающих требованиям системы управления по своевременной, достоверной и безопасной передаче всех видов сообщения (информации). Важнейшими из них являются боевая готовность, устойчивость, мобильность, пропускная способность, разведывательная защищенность, доступность и управляемость [1]. В различных условиях обстановки значимость перечисленных свойств не является одинаковой. Так, в условиях

постоянного радиоэлектронного воздействия противника на систему связи повышается значение ее помехоустойчивости и разведзащищенности (РЗ) [1].

Ведение противником интенсивной разведывательной деятельности нацелено на вскрытие системы управления противостоящей группировки, ее местоположения в конкретных географических координатах, а также ее функциональных возможностей, с целью деструктивного воздействия на систему управления в дальнейшем. Обнаруживаемый средствами радио- и радиотехнической разведки (РПТР) информационный портрет радиоэлектронных средств (РЭС), входящих в состав разведываемой системы управления, позволяет обнаруживать данные о технических характеристиках и особенностях РЭС, их идентификацию в соответствии с эталонными признаками, опираясь на которые формируются данные, на основе которых определяется их оперативно-тактическое назначение и принадлежность звену управления. Результаты РПТР позволяют осуществить эффективное функциональное поражение РЭС применением средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), и как следствие, нарушение функционирования системы управления [1].

Современные разведывательные комплексы позволяют противнику выявлять факт работы РЭС, определять характеристики сигнала и их информационную составляющую, при этом время анализа сигнала составляет единицы секунд [2].

В свою очередь, применяемые средства связи не в полной мере, соответствуют требованиям развед- и помехозащищенности, так как работают в известных частотных диапазонах, зачастую на фиксированных рабочих частотах. Таким образом, современные средства РПТР, находящиеся на вооружении, позволяют осуществлять вскрытие системы связи и обеспечить деструктивное воздействие на нее средствами огневого поражения.

В складывающихся условиях актуальной задачей является повышение РЗ систем связи, при решении которой требуется комплексное применение существующих и разработка перспективных методов, направленных на обеспечение эффективности функционирования систем связи в условиях воздействия на нее средств разведки и РЭБ противника.

Для оценки РЗ системы связи, необходимо учитывать ряд объективно существующих внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на систему связи.

Внешними факторами, оказывающими влияние на РЗ системы связи, являются [1, 3]:

- группировка и характер действия противника;
- возрастание возможностей по огневому и радиоэлектронному воздействию противника на систему связи;

- наращивание возможностей группировки сил и средств разведки противника;
- формы и способы применения средств РЭБ противника;
- увеличение и разнородность боевого состава, базирование авиации;
- построение и функционирование системы управления.

В сложившейся ситуации наиболее существенное влияние на РЗ системы связи оказывает противостоящая группировка сил и средств разведки.

Важным свойством информационного поля РРТР является значимость ДМП в процедуре получения разведывательной информации. Данное свойство характеризуется тремя основными показателями: информативностью признаков; устойчивостью их проявления; степенью их зависимости между собой [1]. Количественные значения этих показателей в динамике боевых действий постоянно варьируются в определенных пределах и зависят от объема нагрузки, обрабатываемой в системе связи, и интенсивности выхода в эфир радиоизлучающих средств. Поэтому, что в процессе ведения разведки оценка этих параметров производится в режиме реального времени с учетом складывающегося информационного поля системы связи для РРТР [1].

Высокая динамичность боевых действий требует постоянного изменения структурно-топологических параметров системы связи. В зависимости от оперативной обстановки пункты управления будут перемещаться в новые районы совместно со своими узлами связи. Перемещение основных пунктов управления на запасные командные пункты также влечет за собой существенные изменения в системе связи [3].

Под временем постоянства структурно-топологических показателей системы связи следует понимать время, в течение которого основной ПУ функционирует в одном районе. В этот период должен обеспечиваться обмен информацией по управлению войсками с требуемой скрытостью, т.е. система связи должна находиться в разведзащищенном состоянии за время пока сохраняется постоянство структурно-топологических показателей [1].

Структура и особенности построения системы связи, наличие и состояние сил и средств связи, режимы функционирования средств связи, периодичность перемещения узлов связи оказывают значительное влияние на обеспечение РЗ системы при подготовке и в ходе боевых действий.

Проведенный анализ внешних и внутренних факторов позволил определить, что основным требованием к РЗ системы связи является способность системы связи находиться в разведзащищенном состоя-

нии в течение требуемого времени, для чего необходима минимизация демаскирующих признаков радиоизлучающих элементов.

Наиболее подверженными воздействию системы РРТР противника остаются средства радиосвязи, важность использования которых при построении системы связи и обеспечении управления достаточно высока. При этом наиболее уязвимыми в отношении обеспечения требуемой РЗ в силу особенностей частотного диапазона являются средства радиосвязи декаметрового диапазона.

Таким образом, необходимы дальнейшие теоретические исследования и практическая проверка выработанных рекомендаций по обеспечению разведзащищенности системы связи и активного внедрения наиболее эффективных из них в практику боевой подготовки войск. Одним из направлений повышения эффективности радиосвязи является разработка комплексных методов адаптации и построение автоматизированных сетей радиосвязи с автоматическим управлением структурным, алгоритмическим и параметрическим ресурсом.

Список литературы

1. Боговик, А. В. Эффективность системы военной связи и методы ее оценки / А. В. Боговик, В. В. Игнатов. – СПб. : ВАС, 2006. – 184 с.
2. Информационные, специальные, воздушно-десантные и автомобильные операции армий ведущих зарубежных государств : информационно-аналитический сборник / А. Н. Сидоркин и др. – М. : Воениздат, 2011. – 344 с.
3. Вартансян, В. А. Радиоэлектронная разведка / В. А. Вартансян. – М. : Воениздат, 1975. – 255 с.

Стафеев М. А., Василевский А. А.

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СИСТЕМЫ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ

Аннотация. Рассматривается методика оценки системы радиотехнического обеспечения полетов авиационного формирования на основе показателей, характеризующих радиотехнические средства.

Ключевые слова: радиотехническое обеспечение полетов.

В работе для оценки систем РТО полетов предлагается методика на основе технических показателей и показателей, характеризующих функциональные возможности радиотехнических средств с примене-

нием теории выбора и принятия решений, экспертных оценок и линейного программирования [2].

Задача оценки качества функционирования системы РТО авиационного формирования в целом складывается из ряда самостоятельных задач оценки качества функционирования элементов системы РТО полетов, связанных между собой выполняемыми ими задачами.

Частными показателями являются показатели качества функционирования конкретных средств РТО ($W_1, W_2, W_3, \dots, W_k, \dots, W_K$), общими показателями коэффициенты, характеризующие способность средств РТО выполнить конкретные функции системы РТО полетов ($W_{F1}, W_{F2}, W_{F3}, \dots, W_{F1}, \dots, W_{FL}$). Обобщенным показателем является коэффициент качества функционирования системы РТО полетов в целом ($W_{РТО}$). На первом этапе осуществляется оценка качества функционирования каждого отдельного средства РТО, входящего в систему.

Расчет показателей качества функционирования средств РТО производится на основе технических показателей и показателей, характеризующих функциональные возможности выбранного средства РТО с помощью формулы:

$$W_K = \alpha \sum_{i=1}^n g_i K_i^{(p)} + \beta K^{(f)}, \quad (1)$$

где W_K – относительный комплексный показатель качества k -го средства РТО; α и β – групповые коэффициенты весомости по тактико-техническим характеристикам (ТТХ) и по функциональным возможностям средства РТО, они нормируются, исходя из условий

$$\alpha + \beta = 1; \alpha, \beta \in [0; 1];$$

$K_i^{(p)}$ и $K^{(f)}$ – коэффициенты весомости по перечню ТТХ и по перечню функциональных возможностей средства РТО, не охваченных тактико-техническими характеристиками; g_i – относительные численные значения ТТХ средства РТО.

Относительные численные значения ТТХ средств РТО (g_i) рассчитываются следующим образом: если возрастание численного значения параметра увеличивает степень выполнения конкретной задачи средства РТО:

$$g_i^{(1)} = \left\{ \frac{P_i}{P_{\delta i}} \right\}; \quad (2)$$

если убывание численного значения параметра увеличивает степень выполнения конкретной задачи средства РТО:

$$g_i^{(2)} = \begin{cases} P_{\delta i} \\ P_i \end{cases}, \quad (3)$$

где P_i – абсолютные численные значения i -й ТТХ средства РТО ($i = 1, 2, \dots, n$); $P_{\delta i}$ – абсолютные численные значения ТТХ «эталонного» средства РТО, принятых за базу сравнения; n – количество ТТХ в перечне.

Коэффициенты весомости по перечню ТТХ устанавливаются в произвольной линейной шкале с последующим их нормированием по формуле:

$$K_i^{(p)} = \frac{\tilde{K}_i^{(p)}}{\sum_{i=1}^n \tilde{K}_i^{(p)}}, \quad (4)$$

где $\tilde{K}_i^{(p)}$ – коэффициенты весомости ТТХ, установленные в произвольной линейной шкале.

Коэффициенты весомости по перечню функциональных возможностей также устанавливаются в произвольной линейной шкале с последующим их пересчетом в коэффициент функциональной полноты средства РТО по формуле:

$$K^{(f)} = \frac{\sum_{j=1}^m K_j^{(f)} \xi_j}{\sum_{j=1}^m K_{\delta j}^{(f)} \xi_{\delta j}}, \quad (5)$$

где $K^{(f)}$ – коэффициент функциональной полноты средства РТО; $K_j^{(f)}$ – коэффициент весомости j -й функциональной возможности средства РТО ($j = 1, 2, \dots, m$); ξ_j – индекс наличия j -й функциональной возможности в средстве РТО (при наличии функциональной возможности $\xi_j = 1$, при отсутствии $\xi_j = 0$); $\xi_{\delta j}$ – индекс наличия j -й функциональной возможности в средстве РТО, принятой за базу сравнения (при наличии функциональной возможности $\xi_{\delta j} = 1$, при отсутствии $\xi_{\delta j} = 0$); $K_{\delta j}^{(f)}$ – коэффициент весомости j -й функциональной возможности средства РТО, принятой за базу сравнения;

m – общее количество (полный набор) функциональных возможностей средства РТО, не охваченных выбором ТТХ.

Качество выполнения функций системы РТО (решения задач системой РТО) полетов авиации находится в непосредственной зависимости от возможностей входящих в ее состав средств РТО [3].

Поэтому на втором этапе оценки значений общих показателей характеризующих возможности системы РТО полетов выполнить конкретные функции (задачи), используется выражение:

$$W_{Fl} = \sum_{k=1}^{K_l} W_{K_l} \omega_{k_l}, \quad (6)$$

где K_l – множество средств РТО, непосредственно участвующих в обеспечении решения l -й функции системы РТО полетов; ω_{k_l} – нормированные значения весовых коэффициентов ω_{k_l} ; ω_{k_l} – весовые коэффициенты средств РТО, которые применяются для решения конкретной l -й функции системы РТО полетов, определяются экспертным путем на порядковой шкале «Градация качества».

Обобщенный показатель качества функционирования системы РТО полетов авиационного формирования рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{РТО}} = \sum_{l=1}^L W_{Fl} \omega_{Fl}, \quad l \in \{1, 2, \dots, 9\}, \quad (7)$$

где ω_{Fl} – весовые коэффициенты функций F_l , определяются экспертным путем.

Таким образом, в статье предложена методика оценки качества функционирования системы РТО полетов авиационного формирования, позволяющая производить сравнительную оценку различных возможных построений систем РТО полетов и обосновывать рекомендации по их совершенствованию.

Список литературы

1. Кузьмин, Б. И. Сети и системы авиационной цифровой электросвязи : учебное пособие / Б. И. Кузьмин ; под ред. В. А. Сарычева. – М. : «Агенство «ВиТ-прит», 2003. – Ч. 3. – 480 с.

2. Воробьев, В. А. Эффективность комплекса технических средств радиотехнического обеспечения полетов государственной авиации : сб. науч. ст. VII междунар. науч.-техн. конф. (24–25 октября 2018 г.) / В. А. Воробьев, М. М. Прудов. – Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018. – 440 с.

Хрипунов В. П.¹, Зырянов Ю. Т.²
¹ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина»
(Московская обл., Звездный городок, Россия),
²Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОЗДАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ

Аннотация. Рассмотрены особенности и тенденции космического тренажеростроения. Представлено сравнение эксплуатационных характеристик тренажеров по программам «Мир» и российского сегмента международной космической станции. Показаны основные недостатки, присущие космическому тренажеростроению, и пути их устранения.

Ключевые слова: технические средства подготовки космонавтов, эксплуатационные характеристики, формирование комплекса технических средств подготовки космонавтов.

Введение. Одним из основных компонентов российской системы подготовки космонавтов является комплекс технических средств. Комплекс технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) – средства, предназначенные для профессиональной подготовки космонавтов, обеспечивающие их теоретическую и практическую подготовку, выработку профессиональных навыков и умений, необходимых для выполнения космического полета и действий после посадки, подготовку организма космонавтов к воздействию факторов космического полета [1].

Требования к созданию и эксплуатации комплекса ТСПК. Для обеспечения технической подготовки по российскому сегменту международной космической станции (РС МКС) состав комплекса ТСПК включает в себя:

- средства теоретической и технической подготовки;
- функционально-моделирующие стенды;
- специализированные и комплексные тренажеры;
- имитаторы условий космического полета;
- технические средства медико-биологической подготовки;
- комплексные самолетные тренажеры различного назначения;
- средства подготовки к работам в открытом космосе;

- средства подготовки к действиям после посадки в различных климатогеографических зонах и др.

Проведенный анализ создания и последующей активной эксплуатации ТСПК за период 1960 – 2018 гг. позволяет выявить основные тенденции космического тренажеростроения [2]:

- увеличение времени тренажерной подготовки космонавтов с 5% (программа «Восток») до 62% (программа МКС);

- уменьшение количества отказов тренажерной техники в 21 раз;

- увеличение сроков эксплуатации комплекса ТСПК (эксплуатация комплекса ТСПК по программе «Мир» составила около 16 лет; эксплуатация комплекса ТСПК по РС МКС предположительно составит более 25 лет);

- увеличение временных затрат на проведение доработок и модернизации тренажеров до 25% (около 40% доработок идет на обеспечение соответствия тренажера штатному (летному) изделию; 60% доработок направлено на совершенствование составных элементов тренажера и устранение замечаний, выявленных в процессе тренировок) [3];

- создание новых типов – компьютерных тренажеров (для предтренажерной, предстартовой и бортовой тренировок космонавтов);

- активное применение на ТСПК тренажерных аналогов бортового оборудования;

- количественное увеличение комплекса ТСПК.

При определении подходов к формированию комплекса ТСПК необходимо обратить внимание на выявленные особенности и тенденции космического тренажеростроения [2]. К основным особенностям космического тренажеростроения относятся:

- сложность, сравнимая со сложностью летных изделий и высокая стоимость создания тренажера;

- длительные сроки создания тренажера (от 2 до 4 лет);

- необходимость создания ТСПК параллельно с созданием летного изделия (с целью обеспечения подготовки первых экипажей) в условиях отсутствия полного комплекта документации главного конструктора;

- длительный период эксплуатации тренажеров (от 15 до 20 лет);

- обеспечение возможности постоянной модификации тренажера в соответствии с изменениями на летном изделии в течение всего срока его эксплуатации без значительных перерывов в тренировках.

Основываясь на требованиях, обеспечивающих эффективность подготовки экипажей, можно сформулировать основные требования к создаваемому комплексу технических средств подготовки космонавтов:

- создаваемый комплекс ТСПК должен обеспечивать возможность практической отработки всего множества полетных операций и всего множества нештатных ситуаций;
- количество создаваемых ТСПК в основном определяется количеством экипажей и требуемой интенсивностью проведения тренировок;
- создаваемый комплекс ТСПК должен обеспечивать необходимый уровень адекватности проводимых тренировок реальному полету;
- комплекс ТСПК должен быть создан заблаговременно до запуска ПКА, с целью обеспечения эффективной подготовки экипажей;
- создаваемый комплекс ТСПК должен обеспечивать выполнение методических требований подготовки космонавтов;
- создаваемый комплекс ТСПК должен обеспечивать унификацию программных и аппаратных средств создаваемых тренажеров.

Заключение. Тенденции дальнейшего усложнения тренажерной техники, расширения ее номенклатуры и количества, увеличение количества экипажей, одновременно проходящих тренажерную подготовку, возникающие сложности при эксплуатации тренажерной техники обуславливают необходимость перехода от эвристических методов формирования комплекса ТСПК к научно обоснованным подходам ее создания и эксплуатации.

Формирование состава комплекса ТСПК должно происходить за счет покрытия пространства задач подготовки космонавтов, функциональными возможностями тренажерных средств. Типы тренажерных средств и их количество определяются исходя из методических требований системы подготовки. Состав, количество и способы построения технических средств подготовки должны определяться таким образом, чтобы обеспечить должный уровень подготовки экипажей [2, 3].

Список литературы

1. Проект «Руководство по подготовке космонавтов в Российской Федерации» (РПК – 2012).
2. Наумов, Б. А. Космические тренажеры / Б. А. Наумов. – Звездный городок : ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина», 2013. – 214 с.
3. Журналы проведения тренировок по комплексным и специализированным тренажерам. ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина».

Хрипунов В. П.¹, Зырянов Ю. Т.²
¹ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина»
(Московская обл., Звездный городок, Россия),
²ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов, Россия)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ

Аннотация. Рассматриваются проблемы космического тренажеростроения. Представлены основные подходы по разработке методического обеспечения создания оптимальной структуры комплекса технических средств подготовки космонавтов (ТСПК).

Ключевые слова: методическое обеспечение, тренажерные комплексы, оптимальная структура комплекса ТСПК.

Введение. В осуществлении пилотируемых космических полетов тренажерная техника играет особую роль. Тренажеры и моделирующие стенды являются единственными в условиях Земли средствами для практического обучения и отработки космонавтами навыков и умений управления системами пилотируемых космических аппаратов, а также для проверки готовности экипажей к выполнению программ полетов. Эффективность создания перспективного комплекса ТСПК и его использование (эксплуатация) может быть существенно повышена при разработке и внедрении усовершенствованного методического обеспечения, позволяющего оптимизировать структуру комплекса ТСПК и количественный состав однотипных тренажерных средств подготовки. Научная задача исследования состоит в разработке методического обеспечения создания космических тренажеров, под которой будем понимать: совокупность принципов, методик, алгоритмов и системы показателей. Решение данной задачи предлагается осуществить на основе формализации описания процесса создания космических тренажеров.

Результаты исследования. Комплекс технических средств подготовки космонавтов представляет собой совокупность комплексных и специализированных тренажеров, функционально-моделирующих стендов и обучающих стендов. Основная задача комплекса ТСПК заключается в обеспечении технической подготовки экипажей по всем видам подготовки космонавтов и по конкретным летным изделиям с возможностью приобретения знаний, умений и навыков работы с летными изделиями, как в штатных, так и в нештатных ситуациях.

Типы тренажерных средств и их количество определяются исходя из методических требований системы подготовки. Если количество

тренажерных средств N представить как зависимость от параметров управления подготовкой, получим:

$$N = f [O, A, S, K, F, L], \quad (1)$$

где O – множество полетных операций в программе полета определенных для отработки на тренажерных средствах; A – множество расчетных нештатных ситуаций определенных для отработки на тренажерных средствах; S – множество членов экипажа; K – множество корректирующих воздействий; F – внешнее возмущающее воздействие среды (условия проведения тренировок, степень подготовленности инструкторского состава); L – начальный уровень подготовленности членов экипажа.

С учетом большого количества разнообразных задач, связанных с выполнением программы полета, для профессионально-практической подготовки космонавтов используются различные технические средства, отличающиеся назначением, конструкцией, объемом и характером решаемых задач. В настоящее время в состав комплекса ТСПК РС МКС входит 83 технических средства подготовки. В целом, существующий комплекс ТСПК позволяет решать все задачи по подготовке космонавтов по российскому сегменту МКС. Однако, в процессе его создания и эксплуатации были выявлены существенные недостатки. К основным недостаткам космического тренажеростроения необходимо отнести следующие [1, 2, 4]:

1. Несвоевременность создания тренажеров.
2. Разобщенность Головных разработчиков тренажеров в подходах по их созданию.
3. Недостаточная унификация программного и аппаратного состава тренажеров и их составных частей.
4. Отсутствие единого банка данных по создаваемым тренажерам (технологии, модели бортовых систем, структурные модули, бортовое оборудование в тренажерном исполнении и т.д.). Таким образом, современные подходы по формированию комплекса ТСПК, технологии его создания не позволяют в полной мере выполнять все требования, предъявляемые системой подготовки космонавтов к комплексу ТСПК [2, 4].

Структурно комплекс ТСПК может быть представлен тремя типами:

- 1) комплекс автономных тренажеров, где все тренажеры являются автономными и не имеют общих связей между собой;
- 2) тренажерный комплекс, в котором все ТСПК функционально связаны между собой;

3) смешанный тип структуры, где одни тренажеры будут автономными, другие объединены в один или несколько тренажерных комплексов, которые могут состоять из двух и более ТСПК [7].

Проведенные исследования показывают очевидные преимущества тренажерных комплексов по отношению к автономным тренажерам. Эти преимущества отражаются в таких показателях как экономичность, сроки создания тренажеров, унификация, функциональная полнота и эксплуатационные характеристики. Задача принятия решения о выборе оптимальной структуры состоит в формировании множества возможных вариантов, обеспечивающих разрешение проблемной ситуации при существующих ограничениях, и выделении среди этих вариантов одного лучшего или нескольких предпочтительных вариантов, удовлетворяющих предъявляемым к ним требованиям [8]. Разработка методического обеспечения должна основываться на принципе рациональности: «Состав, количество и способы построения технических средств подготовки должны определяться таким образом, чтобы с одной стороны, обеспечить должный уровень подготовки, а с другой стороны, достичь минимальной стоимости и максимальной эффективности применяемых средств».

Заключение. Разрабатываемое методическое обеспечение предлагает научно-обоснованные подходы по определению оптимальной структуры и состава перспективных комплексов технических средств подготовки космонавтов. Ее применение позволит рационально использовать выделяемые ресурсы, сократить сроки создания технических средств и повысить эффективность создания и использования комплексов технических средств подготовки космонавтов.

Список литературы

1. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации / В. Е. Шукшунов и др. ; под ред. В. Е. Шукшунова. – М. : Машиностроение, 2005. – 384 с.
2. Наумов, Б. А. Космические тренажеры / Б. А. Наумов. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина», 2013. – 214 с.
3. Крючков, Б. И. Этапы становления и перспективы развития научно-методической базы подготовки космонавтов / Б. И. Крючков, И. Г. Сохин // Пилотируемые полеты в космос. – 2011. – № 1(1). – С. 78 – 86.
4. Лончаков, Ю. В. Основные положения концепции создания в Центре подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина интегрированного комплекса технических средств подготовки космонавтов / Ю. В. Лончаков, Б. А. Наумов, В. П. Хрипунов // Пилотируемые полеты в космос. – 2011. – № 1(1). – С. 78 – 86.

5. Петровский, А. Б. Теория принятия решений / А. Б. Петровский. – М. : Издательский центр «Академия», 2009.

6. Качала, В. В. Основы теории систем и системного анализа / В. В. Качала. – М. : Горячая линия, 2012.

7. Наумов, Б. А. Интеллектуальные тренажные комплексы как эффективное средство решения многофункциональных задач подготовки космонавтов / Б. А. Наумов // Авиакосмическое приборостроение. – 2005. – № 4. – С. 39 – 43.

8. Селиванова, З. М. Математическая модель реконfigurирования структуры интеллектуальной информационно-измерительной системы / З. М. Селиванова, В. С. Ерышова // Энергосбережение и эффективность в технических системах : сб. материалов V Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – 2018. – С. 193–194.

Чернышов Н. Г., Сидорова Д. А., Гурин Д. С., Тинотенга Д.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ В РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Аннотация. Рассматриваются особенности применения когнитивных графических образов в решении задач анализа и синтеза оптимального управления на множестве состояний функционирования и построения систем энергосберегающего управления технологическими объектами. Показана актуальность использования когнитивных графических образов для построения систем управления на базе простых микропроцессорных контроллеров.

Ключевые слова: когнитивная графика, энергосберегающее управление, функция оптимального управления.

Одной из важных задач в разработке технологических установок и систем управления ими является экономия энергоресурсов. Важным резервом в решении проблемы энерго- и ресурсосбережения является оптимальное по минимуму затрат энергии или топлива управление динамическими объектами, проектирование машин и аппаратов, которые при своем функционировании требуют меньших энергозатрат по сравнению с существующими аналогами. Теоретические исследования и практические результаты показывают, что при оптимальном управлении уменьшение затрат энергии или расхода топлива может достигать от 10 до 40% по сравнению с традиционно используемыми управ-

ляющими воздействиями. Кроме того, в динамических режимах, характеризующихся меньшими энергетическими затратами, снижаются механические и тепловые нагрузки, что ведет к повышению долговечности и безопасности эксплуатации оборудования.

Начальный этап исследований оказывает существенное влияние на риск успешной разработки и внедрения системы энергосберегающего управления. Для этого должны быть решены следующие проблемы:

- разработка методов и алгоритмов прогнозирования ожидаемого эффекта энергосбережения, учитывающих долю функционирования объекта в динамических режимах, погрешности математических моделей, влияние возмущающих воздействий, потребление энергии управляющими и исполнительными устройствами;

- создание интеллектуальных баз данных, содержащих информацию о результатах использования системы энергосберегающего управления для различных классов объектов (тепловых, машин с электроприводами и др.);

- разработка методик введения расширенного множества состояний функционирования, учитывающего возможные ситуации, которые могут иметь место для объекта в условиях реальной эксплуатации;

- создание методов для автоматизированного формирования множества альтернативных вариантов постановки задачи оптимального управления, их сравнения, оценки рисков и определения наиболее предпочтительных.

В связи с этим большую актуальность имеют исследования по следующим направлениям:

- построение модели динамики сложных объектов с распределенными параметрами и приведение их к виду, позволяющему выполнить полный анализ задачи оптимального управления на множестве состояний функционирования, синтез управляющих воздействий в реальном времени и совмещенный синтез оптимального управления;

- разработка методов «быстрой» идентификации моделей с большим числом параметров, в том числе коэффициентов дифференциальных уравнений, времен запаздывания по различным каналам управления и возмущения, времен переключения для дифференциальных уравнений с разрывной правой частью;

- разработка моделей, позволяющих прогнозировать изменения возмущающих воздействий и состояний функционирования.

Серьезным сдерживающим фактором в реализации оптимального энергосберегающего управления динамическими процессами является сложность реализации анализа и алгоритмов синтеза управляющих воздействий в реальном времени, которые могут быть использованы простыми и дешевыми микропроцессорными устройствами. Для полу-

чения алгоритмов энергосберегающего управления требуется проведение ресурсоемких исследований применительно к каждому новому объекту и новым режимам работы [1, 2]. На данном этапе исследований окончательно формулируется задача оптимального управления с учетом полученной модели динамики, выполняется полный анализ задачи на множестве состояний функционирования, решаются задачи синтеза алгоритмического обеспечения для управляющего устройства, выбирается стратегия реализации оптимального управления и т.д. [3, 4].

Из этого следует, что при создании системы энергосберегающего управления необходимо учитывать значительный объем и сложность вычислений, связанных с проведением полного анализа оптимального управления, которые должны быть оперативно выполнены в реальном масштабе времени управляющим контроллером или компьютером. Это накладывает определенные ограничения на работу системы оптимального энергосберегающего управления с очевидным снижением ее эффективности. Одним из возможных способов решения этой проблемы является применение принципов когнитивной графики. На рисунке 1 приведен пример вида функций оптимального управления, полученный в результате проведенного полного анализа на примере модели динамики реального двойного интегратора (функционал – затраты энергии, программная стратегия управления, концы фазовой траектории закреплены, временной интервал фиксирован, управление ограничено).

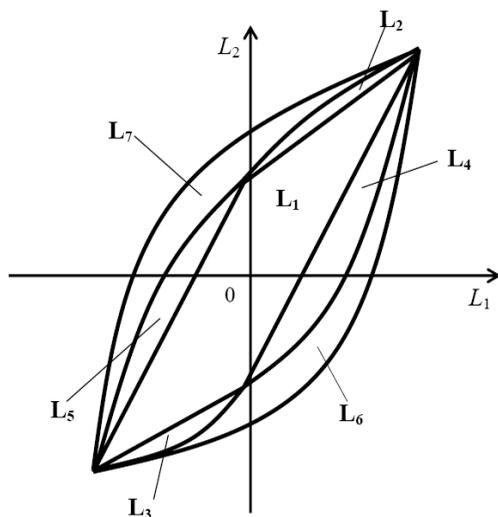


Рис. 1. Области L_j существования видов функций оптимального управления

Вид функции оптимального управления $u^*(t)$ однозначно определяются значениями синтезирующих переменных L_1 и L_2 . Область существования решения задачи оптимального управления представляет собой объединение областей соответствующих видов функций оптимального управления, при этом границам областей соответствуют частные случаи функции оптимального управления с «закрепленными» концами траектории.

В качестве когнитивного образа, отображающего области существования видов оптимального управления, представим виды функций оптимального управления, полученные в результате проведенного полного анализа на примере модели динамики реального двойного интегратора. Данный образ может быть записан в память управляющего контроллера и в дальнейшем использован при работе системы оптимального энергосберегающего управления. Это значительно упрощает процесс синтеза управляющих воздействий, с учетом возможных изменений состояний функционирования объекта. Исключение процедуры полного анализа оптимального управления в реальном масштабе времени при смене состояния функционирования существенно снижает требования к быстродействию разрабатываемой системы оптимального управления, что положительно сказывается как на себестоимости устройства, так и на уровне его энергопотребления. С другой стороны, использование геометрического подхода приводит к минимизации ошибок принятия решений.

Список литературы

1. Zhou, K. Robust and Optimal Control / K. Zhou, J. Doyle, K. Glover // Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J. – 1996.
2. Чернышов, Н. Г. Особенности создания систем энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования / Н. Г. Чернышов, Д. Ю. Муромцев // Автоматика и вычислительная техника. – 2008. – № 3. – С. 56 – 68.
3. Муромцев, Ю. Л. Информационные технологии в проектировании энергосберегающих систем управления динамическими режимами : учебное пособие / Ю. Л. Муромцев, Л. П. Орлова. – Тамбов : ТГТУ, 2000. – 84 с.
4. Чернышов, Н. Г. Система энергосберегающего управления процессами нагрева энергоемких объектов / Н. Г. Чернышов, С. В. Артемова // Автоматика и вычислительная техника. – 2001. – № 3. – С. 25 – 33.

**Чернышова Т. И., Курносов Р. Ю.,
Каменская М. А., Карелин П. И.**
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Рассмотрены критерии эффективности для решения задачи прогнозирования состояния метрологических характеристик и метрологической надежности информационно-измерительных систем в целом.

Ключевые слова: метрологическая надежность, информационно-измерительная система, метрологические характеристики, показатели качества, критерий эффективности.

Метрологическая надежность (МН) информационно-измерительных систем (ИИС) определяется метрологической надежностью аналоговых блоков (АБ), составляющих измерительный канал ИИС.

Заключительным этапом решения задачи прогнозирования МН АБ ИИС является оценка качества проведенного прогнозирования [1]. Основным показателем качества прогнозирования МН АБ ИИС является показатель эффективности. Под эффективностью принято понимать степень приспособленности для выполнения поставленной задачи. Эффективность характеризуется показателем или набором показателей, которые выбирают с учетом особенностей поставленной задачи прогнозирования. В классификации задач прогнозирования метрологической надежности выделяют прямое и обратное прогнозирование МН. Рассмотрим оценку эффективности прогнозирования МН при решении указанных выше задач.

Прямая задача прогнозирования заключается в определении состоянии метрологической характеристики (МХ) исследуемого АБ ИИС, как правило на одну метрологическую поверку вперед, тогда эффективность прогнозирования может определяться выражением (1):

$$K_3 = \frac{1}{k}, \quad (1)$$

где k – число поверок АБ ИИС в области контроля T_1 .

Если межповерочный интервал (МПИ) удовлетворяет условию его постоянства $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t$, то критерий эффективности прямого прогнозирования рассчитывается согласно выражению:

$$K_3 = \frac{1}{\frac{T_1}{\Delta t} + 1}, \quad (2)$$

где Δt – значение межповерочного интервала.

Из (1) и (2) вытекает, что для повышения эффективности прогнозирования состояния МХ АБ ИИС на одну поверку вперед целесообразно уменьшить количество измерений области контроля T_1 за счет увеличения интервала между поверками Δt . Поэтому выбранный критерий эффективности прогнозирования близок к экономическому критерию, который учитывает стоимость и трудоемкость контроля.

Обычно, в условиях эксплуатации ИИС величина МПИ не остается постоянной, а претерпевает изменения, исходя из параметров случайного процесса изменения МХ АБ во времени. Таким образом, необходимо провести оценку эффективности прогнозирования при $\Delta t = \text{var}$. В этом случае критерий эффективности прямого прогнозирования вычисляется по выражению:

$$K_3 = \frac{t_{k+1} - t_k}{\sum_{i=1}^k \Delta t_i} = \frac{\Delta t}{T_k}, \quad (3)$$

где T_k – интервал времени контроля.

Очевидно, что эффективность проведенного прогнозирования будет повышаться при росте межповерочного интервала Δt , на который проводится прогнозирование состояния МХ. Из вышеперечисленного следует снижение стоимости прогнозирования, т.е. и в данном случае при определении K_3 по формуле (3) выявляется связь с экономическим критерием. Тем не менее, существенным ограничением для увеличения Δt_{k+1} является уменьшение точности прогнозирования. В связи с этим, в каждом конкретном случае требуется связать задачу прогнозирования состояния МХ и соответственно МН на существенные временные интервалы с необходимой при этом точностью прогнозирования.

В [2] приведены расчетные соотношения, позволяющие определить величину МПИ на этапе проектирования АБ ИИС, исходя из вида математической модели, описывающей нестационарный случайный процесс временного изменения МХ исследуемого АБ ИИС. Как правило, полиномиальные зависимости второй степени являются адекватными моделями для описания процесса изменения во времени МХ.

В этом случае значение критерия эффективности может рассматриваться в соответствии с выражением:

$$K_3 = \frac{-(a_1 + 2a_2t_i) \pm \sqrt{(a_1 + 2a_2t_i)^2 + 4a_2\Omega}}{2a_2T_{\kappa}}, \quad (4)$$

где a_1, a_2 – коэффициенты математической модели; t_i – время эксплуатации; Ω – разрешающая способность.

Обратная задача прогнозирования состоит в определении времени возможного метрологического отказа проектируемого АБ ИИС. Эффективность решения задачи оценки обратного прогнозирования МН определяется по формуле:

$$K_3 = \frac{T'_{\text{отк}}}{T_{\text{отк}}}, \quad (5)$$

где $T'_{\text{отк}}$ – время наступления метрологического отказа, полученное в результате прогноза МН проектируемого АБ; $T_{\text{отк}}$ – время наступления метрологического отказа, определенное в технических условиях проектируемого АБ.

Рассмотрим, как и в первом случае, описание процесса временного изменения МХ АБ полиномиальной моделью второго порядка. Величина времени наступления метрологического отказа определяется с учетом пересечения реализаций нестационарного случайного процесса изменения во времени МХ ее допустимого значения $S_{\text{доп}}$. В этом случае можно записать:

$$S_{\text{доп}} = a_0 + a_1T'_{\text{отк}} + a_2T'^2_{\text{отк}}. \quad (6)$$

Отсюда можно получить выражение для определения $T'_{\text{отк}}$:

$$T'_{\text{отк}} = \frac{-a_1 - \sqrt{a_1^2 - 4a_2[a_0 - S_{\text{доп}}]}}{2a_2}. \quad (7)$$

Тогда с учетом (7), эффективность задачи обратного прогнозирования МН определяется по формуле:

$$K_3 = \frac{-a_1 - \sqrt{a_1^2 - 4a_2[a_0 - S_{\text{доп}}]}}{2a_2T_{\text{отк}}}. \quad (8)$$

Таким образом, полученные расчетные соотношения могут быть использованы для определения эффективности прогнозирования МН

на стадии проектирования ИИС и позволят оценить качество проведенного прогнозирования показателей МН в зависимости от постановки задачи.

Список литературы

1. Мищенко, С. В. Метрологическая надежность измерительных средств / С. В. Мищенко, Э. И. Цветков, Т. И. Чернышова. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 96 с.
2. Чернышова, Т. И. Оценка достоверности прогнозирования метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – № 3. – С. 79 – 82.

Шлейников В. Б., Антонова С. В., Руппель А. В.

Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Россия)

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ СРЕДСТВАМИ ТАБЛИЧНОГО ПРОЦЕССА

Аннотация. Проведен анализ влияния коэффициента мощности, коэффициента загрузки и мощности трансформаторов на потери в силовых трансформаторах. Произведен расчет потерь напряжения в трансформаторах, который представлен в таблицах. Аналитическим и графическим путем показана зависимость данных величин друг от друга.

Ключевые слова: коэффициент мощности, силовые трансформаторы, коэффициент загрузки, потери электроэнергии, зависимость.

Основными характеристиками трансформатора являются напряжение обмоток и передаваемая трансформатором мощность. Передача мощности от одной обмотки к другой происходит электромагнитным путем, при этом часть мощности, поступающей к трансформатору из питающей электрической сети, теряется. Такую часть мощности называют потерями.

Уменьшение потерь в трансформаторе, которые, в свою очередь, оказывают влияние на потери в сети, является актуальной проблемой на данный момент. Проанализируем как мощность трансформатора, коэффициент загрузки и коэффициент мощности влияют на потери в силовых трансформаторах. Расчет потерь произведен на примере группы трансформаторов, характеристики которых представлены в табл. 1.

1. Технические характеристики трансформаторов

$S_{н},$ кВА	Сочетание напряжений, кВ		Схема и группа соединения обмоток	$P_{xx},$ %	$P_{к},$ %	$U_{к},$ %	$I_{xx},$ %
	ВН	НН					
250	6;10	0,4	У/У _Н -0	0,61	3,7	4,5	1,9
400	6;10	0,4	У/У _Н -0	0,90	5,5	4,5	1,8
630	6;10	0,4	У/У _Н -0	1,25	7,9	5,5	1,7
1000	6;10	0,4	Д/У _Н -11	1,90	12,2	5,5	1,2
1600	6;10	0,4	У/У _Н -0; Д/У _Н -11	2,65	16,5	6,0	1,0
2500	6;10	0,4	Д/У _Н -11	3,75	26,0	6,0	0,8

Для того чтобы рассчитать потери мощности в трансформаторе воспользуемся следующими формулами.

Активная составляющая напряжения короткого замыкания равна:

$$U_{к.а} = \frac{\Delta P_{к} \cdot 100}{S_{н}}, \text{ \%},$$

где $P_{к}$ – потери короткого замыкания трансформатора; $S_{н}$ – номинальная мощность трансформатора.

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания равна:

$$U_{к.р} = \sqrt{U_{к}^2 - U_{к.а}^2},$$

где $U_{к}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора.

Потери в трансформаторе равны:

$$\Delta U_{Т} = K_{з}(U_{к.а} \cos \varphi + U_{к.р} \sin \varphi), \text{ \%}.$$

Весь расчет производим по представленным формулам. Результаты заносим в табл. 2.

Для выявления зависимости потерь в трансформаторе от коэффициента загрузки и коэффициента мощности произведем расчеты на примере трансформатора ТМЗ 250. Результаты расчета сведены в табл. 3.

Для наглядности представим данную таблицу в качестве поверхности распределения потерь (рис. 1).

2. Потери напряжения в трансформаторах при изменении коэффициента загрузки

Мощность трансформатора	Потери напряжения в трансформаторе, %, при коэффициенте загрузки, равном					
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
250	1,86689	2,240277	2,61365	2,98703	3,36041	3,54710
400	1,83543	2,202522	2,56960	2,93669	3,30378	3,48732
630	2,10813	2,529756	2,95138	3,37301	3,79464	4,00545
1000	2,09689	2,516274	2,93565	3,35503	3,77441	3,98410
1600	2,18571	2,622856	3,05999	3,49714	3,93428	4,15285
2500	2,18875	2,6265045	3,064255	3,502006	3,939757	4,158632

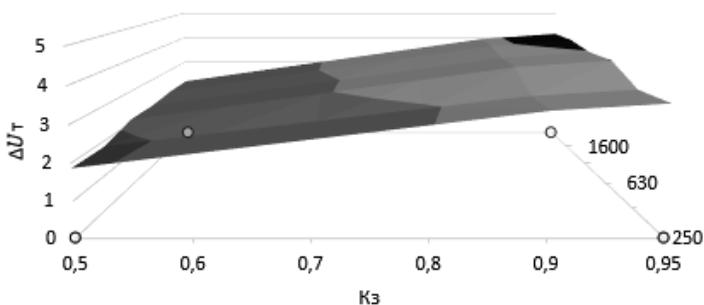


Рис. 1. Поверхность распределения потерь для трансформаторов разной мощности при разном коэффициенте загрузки

3. Зависимость потерь в трансформаторе от коэффициента загрузки и коэффициента мощности

Коэффициент мощности	Коэффициент загрузки					
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
0,5	2,210156	2,6521876	3,094219	3,53625	3,978281	4,199297
0,6	2,143864	2,5726363	3,001409	3,430182	3,858954	4,073341
0,7	2,035432	2,4425181	2,849604	3,256691	3,663777	3,86732
0,8	1,866898	2,2402772	2,613657	2,987036	3,360416	3,547106
0,9	1,592192	1,91063	2,229068	2,547507	2,865945	3,025164
0,95	1,366478	1,6397734	1,913069	2,186364	2,45966	2,596308
1	0,74	0,888	1,036	1,184	1,332	1,406

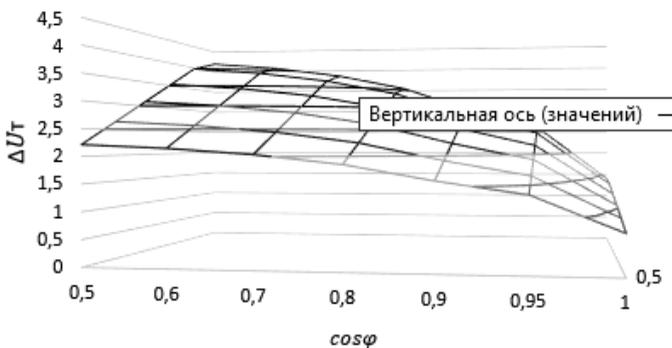


Рис. 2. Зависимость потерь в трансформаторе от коэффициента загрузки и коэффициента мощности

Вывод: при увеличении $\cos \varphi$ потери мощности в трансформаторе уменьшаются. Одним из эффективных способов коррекции $\cos \varphi$ и как следствие – снижения потерь являются мероприятия по компенсации реактивной мощности. При увеличении коэффициента загрузки потери мощности в трансформаторе увеличиваются. Наблюдается прямая зависимость, следовательно, чтобы уменьшить потери, необходимо снизить коэффициент загрузки. Также, было выявлено, что с повышением мощности трансформатора, потери растут.

Список литературы и источников

1. Кабышев, А. В. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию : учебное пособие / А. В. Кабышев, С. Г. Обухов. – Томск : Том. политехн. ун-т, 2005. – 168 с.
2. ГОСТ 14209–85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. – Введ. 1987-01-07. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 31 с.
3. Трансформаторы ТМЗ, расшифровка, характеристики, схема, цена. – URL : <http://electra-hvac.ru/rashifrovka-tmz.html>

ЭКСПЛУАТАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО ВЕТРОГЕНЕРАТОРА В ТЕПЛОЭНЕРГОСНАБЖЕНИИ

Аннотация. Рассмотрена возможность получения тепловой энергии для отопления жилого помещения с помощью энергии ветра. Предложен и разработан ветрогенератор не имеющий лопастей – безопасной ветрогенератор. В работе авторами описывается конструкция установки, принцип действия, раскрыта новизна установки. Предложена схема работы ветрогенератора в целях обеспечения тепловой энергией жилого дома. Проведены расчеты ветрогенератора для жилого помещения. В заключении приводятся преимущества и недостатки эксплуатации ветрогенератора в системах теплоснабжения.

Ключевые слова: ветрогенератор, теплоснабжение, энергия, установка, отопление, устройство, мачта.

На сегодняшний день имеются ветрогенераторы – горизонтального (крыльчатого) и вертикального (карусельного) типа. Установки с горизонтальным расположением ротора имеют диаметр ротора в пределах 250...300 м. Ветровой генератор с вертикальной осью вращения имеет турбину достаточно больших размеров, чем с горизонтальной. Ротор находится в вертикальном положении [1].

В результате исследований, была предложена и спроецирована модель устройства, не имеющего лопастей, т.е. безопасной ветровой генератор, который можно использовать как для получения электрической, так и тепловой энергии. Устройство принадлежит к оборудованию электрической энергетики, а именно, к установкам для получения электрической энергии из ветровой энергии, и может эксплуатироваться как на крупных ветровых электрических станциях, так и для снабжения отдельных районов, населенных пунктов, частных владений – энергией. Главная задача при создании – создать устройство, которое бы не являлось затратной на производство, эксплуатацию и ремонт. И, несомненно, повысить эффективность получения энергии. Низкие финансовые затраты на производство характеризуются меньшим содержанием деталей в установке, а также устройство не требует длительного времени на ремонт и техническое обслуживание.

Целью установки является генерация большего количества энергии на меньшей площади, что достигается меньшими габаритными размерами в отличие от традиционных ветровых устройств.

Техническое обслуживание установки не будет требовать значительного периода времени. Отсутствует необходимость в периодической смазке и замене запчастей. В отличие от традиционных ветровых генераторов, данное устройство не будет оказывать воздействия на окружающую среду, т.е. не будет создавать шума. И, несомненно, так как устройство не будет содержать лопастей, оно будет являться безопасным для птиц. Данная установка обладает меньшими габаритными размерами в отличие от традиционных ветровых устройств, и на меньшей площади можно установить большее количество установок, соответственно, можно получить больше выработанной энергии [1 – 3].

Конструкция. Предложенная ветровая установка (рис. 1) содержит систему генерации, мачту, текстолит, инвертор, аккумулятор, фундамент, на нем собственно и будет установлен ветровой генератор [3]. Новизна работы

заключается в том, что в конструкцию безопасного ветрогенератора спроектированы дополнительные элементы, с целью повысить выработку электрической энергии и увеличить площадь колебательного движения и амплитуды колебаний. Для увеличения скорости колебательного движения в конструкцию установки был введен дополнительный элемент – пружина, которая крепит стержень к фундаменту. За счет этого возникает нагрузка и сжатие пружины, тем самым происходит увеличение скорости колебательного движения и амплитуды колебаний. Для большей выработки электрической энергии в установку были введены неодимовые магниты (стойкость: 0,1...2% своей намагниченности за 10 лет) [2 – 4].

Принцип действия безопасного генератора. Поток ветра (рис. 1), направляющийся в сторону мачты (1), заставляет ее совершать

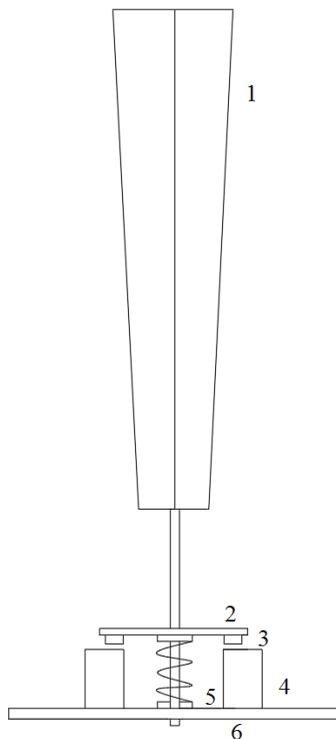


Рис. 1. Схема устройства:

- 1 – мачта; 2 – текстолит; 3 – магниты;
- 4 – катушки; 5 – пружина;
- 6 – фундамент; 7 – стержень

колебательные движения. При этом неодимовые магниты (3), которые закреплены на текстолите (2) параллельно друг другу, совершают движения взаимодействуя с катушками (4), в свою очередь катушки установлены на фундаменте в диаметрально противоположных сторонах производят энергию.

Эксплуатация безопасного ветрогенератора в теплоснабжении. Помимо того, что ветрогенератор можно использовать для получения электричества, его также можно использовать в системе отопления.

Отопление с использованием ветра очень актуально, потому что холодный воздух имеет большую плотность, нежели теплый. Этот фактор имеет положительное влияние на ветрогенератор – его производительность растет, что обеспечивает бесперебойную работу отопления. А также в зимний период интенсивность ветров увеличивается по сравнению с летним.

Отопление получают с помощью ветрогенератора тогда, когда:

- в местности имеется проблема с подводом центрального отопления либо если отопление происходит с переборами – именно ветряк становится хорошим выходом из такой ситуации;

- в местности имеется высокая активность ветра, то рациональным решением будет замена центрального отопления на альтернативное и установка ветряка. Но даже если постоянная активность ветра не очень высока, то ветрогенератором можно отапливать помещения частично и, таким образом, экономить на отоплении.

Схема отопления мало отличается от обычной используемой при использовании собственного котла. Разница схемы лишь в способе нагрева теплоносителя. Требуется емкость, в которой нагревается теплоноситель, соединенный с отопительной системой дома. Таким образом, схема проста: ветрогенератор – нагреватели воды – система отопления воды.

КПД нагревателя воды ТЭН-ов равен 100%. Поэтому рассчитывая теплотери дома мы, по сути, одновременно рассчитываем мощности ТЭН-ов и ветрогенератора.

Схема работы ветрогенератора для дома (рис. 2). Поток ветра, направляющийся на ветрогенератор 1, заставляет его вырабатывать электрическую энергию, энергия накапливается в аккумуляторах, а затем передается в систему ветрогрей 2. Контролер ветрогрей 2 предназначен для ограничения напряжения на заряженных аккумуляторах и утилизации в тепло избыточной энергии, приходящей от ветрогенератора. Когда напряжение на аккумуляторной батарее достигает верхнего порога, который соответствует полностью заряженной батарее,

контролер ветрогрей 2 подключает аккумуляторные батареи к ТЭН 3, благодаря этому напряжение на батарее начинает уменьшаться. Когда напряжение на батарее достигает нижнего порога, ТЭН 3 отключаются от батареи. Таким образом, исключается перезаряд аккумуляторной батареи, а лишняя энергия используется для нагрева воды. Правильно подобранная марка ТЭНов позволяет с максимальным КПД использовать ток с ветрогенератора. Блок автоматики ветрогрей 2 способен работать как с аккумуляторами так и без них. При подключении к аккумуляторам, контролер сначала заряжает их до 60 Вольт, а только потом начинает режим отопления, т.е. подачу тока на ТЭН. При отсутствии аккумуляторов система ветрогрей находится в режиме отопления постоянно.

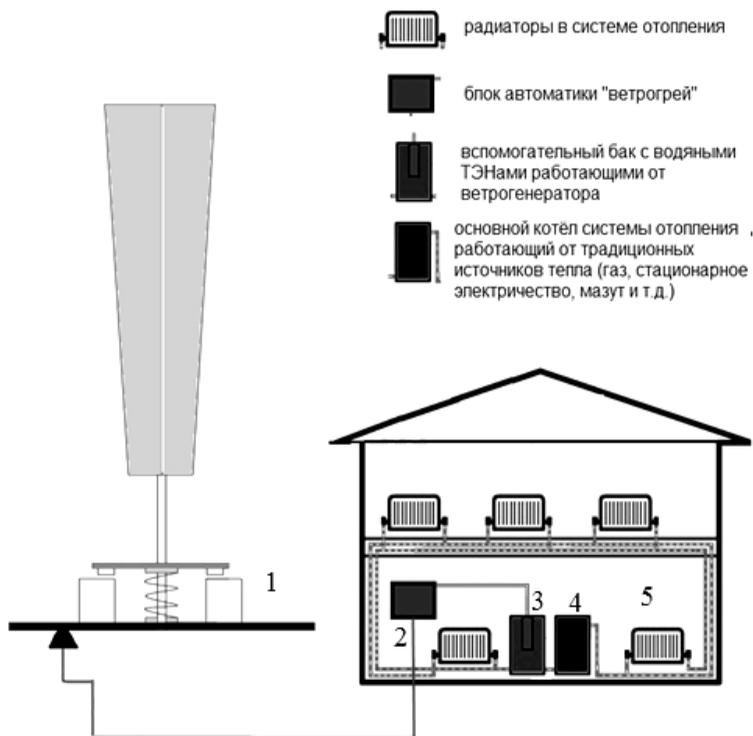


Рис. 2. Схема работы ветрогенератора, отопление для дома:

1 – ветрогенератор; 2 – ветрогрей; 3 – вспомогательный бак с водяными ТЭНами, работающий от ветрогенератора; 4 – котел; 5 – радиаторы отопления

Важнейшие примечания:

- ТЭНы должны быть подключены обязательно, при их отсутствии ветрогенератор может выйти в неуправляемый режим разгона;
- ветрогенератор должен быть мощностью не менее чем 3 кВт/ч;
- требуется регулярная активность ветра, от 5 м/с и выше.

В завершение можно сказать, что отопление дома с помощью ветрогенератора возможно, но имеет ряд своих преимуществ и недостатков. *Преимущества*: Независимость от центрального отопления; Экономия электроэнергии; Возможность регулирования температурного режима. *Недостатки*: Полная зависимость от погоды [2 – 8].

Список литературы

1. Быстрицкий, Г. Ф. Основы энергетики / Г. Ф. Быстрицкий. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 278 с.
2. Харченко, П. А. Перспективы ветроэнергетики / П. А. Харченко // Международный научный журнал «Синергия Наук». (Июнь). – 2018. – № 24.
3. Горячев, С. В. Использование безопасного генератора в ветроэнергетике / С. В. Горячев, П. А. Харченко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2019. – № 1(117).
4. Горячев, С. В. Перспектива развития возобновляемых источников энергии на примере ветроэнергетической установки нового поколения Vortex [Электронный ресурс] / С. В. Горячев, В. И. Тимофеев, М. В. Панявин // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 1, № 12. – С. 119 – 123.
5. Goryachev, S. V. Use of bladeless generator in wind power / S. V. Goryachev, P. A. Kharchenko // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019. – IEEE 24 June 2019. – Sochi Russia.
6. Харченко, П. А. Использование безопасного генератора в ветроэнергетике / П. А. Харченко, С. В. Горячев // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : тр. IX Всерос. науч.-техн. конф. 2018 г. – Оренбург : Изд-во Оренбургский государственный университет.
7. Харченко, П. А. Разработка и обоснование эффективности мачты безопасного ветрогенератора / П. А. Харченко, С. В. Горячев // Автоматизированные системы управления и информационные технологии : тр. всерос. науч.-техн. конф. – 2019 г.
8. Горячев, С. В. Использование безопасного генератора в ветроэнергетике / С. В. Горячев, П. А. Харченко // ПромИнжиниринг : тр. науч.-техн. конф. Россия, Сочи, март 2019 г.

МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Аннотация. Затронута тема использования модульных источников питания для повышения энергоэффективности производства, и повышения экономии энергии в среде электротехнического оборудования. Описываются как принципы построения модульных источников питания, так и причины внедрения данных источников питания на производстве.

Ключевые слова: источник питания, модульный, параллельное соединение, энергоэффективность.

В данный момент остро стоит вопрос энергоэффективности источников питания. Этот вопрос касается как производственных источников питания, так и бытовых. Также определенной сложностью является выбор источников питания под отдельные нужды производства. Сложность состоит в том, что производители в своем большинстве производят источники с жестко регламентированными параметрами, что приводит к тому, что если нагрузка не стандартна, то источник приходится выбирать с большим запасом по мощности, что не всегда рентабельно. Решением в данном случае может являться модульный принцип построения источников питания.

Данный метод построения источников питания уже получил популярность в определенных областях, таких как гальваническое производство. Однако стоит заметить, что данный тип источников питания можно применить и в других областях производства.

Основным достоинством данных источников питания является возможность использования разных типов соединения отдельных модулей питания, таким образом получать необходимые характеристики для определенной цели и применения. Также говоря об экономичности стоит сказать, что модульная структура позволяет использовать только необходимое для обеспечения необходимых параметров количество модулей, следовательно, незадействованные модули физически могут быть отключены, что исключает потребление ими энергии в режиме ожидания. Стоит еще отметить, что любой существующий на данный момент трансформатор потребляет определенное количество электроэнергии в холостом режиме, данный факт может быть незаметен в бытовых условиях, тогда как в условиях производства, при работе с более

мощными источниками питания, данные потери могут стать значительными. Модульные же источники питания вместо одного крупного, мощного трансформатора, с большими потерями на холостом ходу, предполагают использование некоторого количества маленьких, менее мощных трансформаторов в группе, что может вести за собой снижение потерь в трансформаторах по отдельности, откуда вытекает снижение суммарных потерь в источнике питания.

Рассмотрим принципы построения модульных источников питания.

В первую очередь стоит выделить то, что существует всего два типа соединения модулей. Как и во всей электротехнике это последовательное и параллельное соединение.

Рассмотрим случай параллельного соединения источников питания. Параллельное соединение ИП может быть применено в следующих случаях:

1. Для увеличения требуемой мощности нагрузки, путем использования одинаковых ИП.

2. Для создания системы резервирования.

3. Параллельное соединение ИП для увеличения требуемой мощности может быть использовано там, где:

- а) есть вероятность превышения номинальной нагрузки установленного ИП;

- б) требуется увеличить мощность нагрузки там, где нет возможности повысить мощность ИП.

РР используется там, где ответственная нагрузка не допускает потери питания.

Теоретически, в режиме увеличения мощности могут использоваться любые типы ИП, но на практике такой результат не всегда бывает удовлетворительным. Многие поставщики говорят о том, что их ИП допускают параллельное соединение, независимо от вариантов применения. Это не всегда справедливо. Идеально, для параллельного соединения различных ИП, они должны иметь идентичные выходные импедансы и максимально одинаковые выходные напряжения. Это не гарантируется с течением времени из-за нормального разброса выходных параметров и естественного старения. Кроме того, во время переходных режимов (например, запуск, перегрузка, короткое замыкание и т.п.), поведение системы может стать нестабильной.

Несбалансированные токи могут привести к преждевременному старению наиболее напряженных элементов, что отрицательно отразится на надежности всей системы.

Таким образом, необходимо заметить, что для применения параллельного метода соединения источников, необходимо чтобы источники были равномерно нагружены, либо необходима система управления данными модулями, которая бы регулировала выходные характеристики модуля.

Для различных приложений может потребоваться использование нескольких ИП с последовательным соединением (SC) их выходов. ИП в последовательной конфигурации могут использоваться в основном для достижения необходимого уровня напряжения или мощности, недоступных для стандартных блоков.

Теоретически любые 2 или более ИП могут быть соединены последовательно, независимо от их выходных напряжений. Однако внимание этому должно быть уделено в любом случае.

Примечания:

1. Максимальный доступный ток в системе – это номинальный ток одного ИП.

2. Общая суммарная мощность системы представляет собой произведение между суммой напряжений и самым высоким номинальным током ИП. Для систем SC нет снижения номинальных характеристик.

3. Блоки с различными входными/выходными напряжениями/мощностью могут быть соединены последовательно.

4. Текущее ограничение системы по току будет соответствовать тому ИП, у которого самое низкое значение номинального выходного тока.

Несмотря на широкое использование параллельного соединения ИП, рекомендуется избегать конфигурации PP. Вместо этого предпочтительно использовать соединение SC, что дает лучшую стабильность в использовании ИП.

Конфигурация PR полезна во многих критически важных приложениях, и мы настоятельно рекомендуем разработчикам именно это соединение. Рассмотрите этот вариант, используя адекватные оценки потребляемой мощности и избыточности.

Список литературы

1. Производство источников электропитания промышленного и специального назначения. АЭИЭП. – М., 2006.

УСКОРЕННЫЙ ВЫВОД ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА РЕЖИМ

Аннотация. Получено расчетное соотношение, позволяющее определить закон изменения во времени мощности, обеспечивающий заданное изменение температуры. Сокращается время вывода на режим и затраты электроэнергии.

Ключевые слова: энергосбережение, переходный процесс, перерегулирование, оптимизация.

Промышленные электротермические установки характеризуются значительным потреблением электроэнергии. Например, для производства промышленным способом монокристаллов сапфира по методу Киропулоса используются ростовые установки, которые представляют собой высокотемпературную вакуумную печь. Не маловажной особенностью рассматриваемой технологии является ее энергоемкость. Типовое значение мощности ростовой установки составляет 50 кВт, а продолжительность технологического цикла достигает 5 дней и более.

В этой области есть пути повышения экономии электроэнергии. Ростовая установка обладает большой тепловой инерцией. В результате нагрева по линейному закону температура в установке продолжает изменяться еще в течении как минимум 4 часов по инерции. Это не дает возможности перейти к следующему технологическому этапу. Установка простаивает, потребляя все это время электроэнергию. Потребление электроэнергии при этом составляет порядка 200 кВт·ч, что соизмеримо с потреблением двухкомнатной квартиры в течение месяца.

Еще одним примером могут служить автоклавы гидротермального синтеза для выращивания монокристаллов кварца [1]. Они хотя и обладают меньшей мощностью, но имеют гораздо более длинные технологические циклы. Как объект управления автоклав содержит совокупность внутренних термопар и внешних термопар. Управление по внутренним термопарам позволяет обеспечить более высокую точность, но при этом существует значительное запаздывание сигнала, что при попытке ускорить вывод автоклава на режим приводит к значительному перерегулированию.

Рассмотрим реализацию оптимального регулирования температуры с целью уменьшения величины перерегулирования и сокращения времени переходного процесса для термического объекта.

Требуется определить закон изменения во времени мощности $p(t)$, поступающей в нагревательный элемент для того, чтобы была получена температурная зависимость $T(t)$, обеспечивающая за интервал времени τ изменение температуры с заданного начального T_N до заданного конечного T_K значений, при этом в момент достижения температурой конечного значения скорость ее изменения должна быть равна нулю.

Сказанное эквивалентно системе уравнений

$$\begin{aligned} T(0) &= T_N, \\ T(\tau) &= T_K, \\ \left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=\tau} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Будем искать решение этой задачи в классе экспоненциально-убывающих функций, т.е. положим

$$p(t) = Ae^{-\delta t} + B, \quad (2)$$

где A и B – векторы, значения которых должны быть определены, а величина коэффициента δ определяется желаемой длительностью процесса.

Воспользуемся дифференциальным уравнением многомерного термического объекта (МТО) [2], задав все входные величины в форме скаляров, зависящих от времени t , кроме того, приведем его к нормальному виду:

$$\frac{dT(t)}{dt} + a(T(t) - T_0) = p(t),$$

где a – константа, зависящая от тепловых свойств объекта, T_0 – температура окружающей среды.

Решение уравнения представляет собой сумму решения однородного уравнения, и частного решения неоднородного уравнения (с правой частью, соответствующей (2)). На основании полученного результата определяется выражение для температуры, а также скорости ее изменения.

После подстановки найденных выражений в (1) в матричной форме система уравнений примет вид:

$$Z \begin{pmatrix} C \\ A \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_H - T_0 \\ T_K - T_0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

где $Z = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{a-\delta} & \frac{1}{a} \\ e^{-a\tau} & \frac{e^{-\delta\tau}}{a-\delta} & \frac{1}{a} \\ -ae^{-a\tau} & \frac{e^{-\delta\tau}}{\delta-a} & \delta & 0 \end{pmatrix}$, а C – произвольная постоянная, опре-

деляемая при решении однородного дифференциального уравнения (при $p(t) = 0$).

Ее решением являются коэффициенты

$$\begin{pmatrix} C \\ A \\ B \end{pmatrix} = Z^{-1} \begin{pmatrix} T_H - T_0 \\ T_K - T_0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Вычислив значения коэффициентов можно сформировать закон управления, обеспечивающий выполнение условий системы (1).

На рисунке 1 приведен пример расчета оптимального управления по (2) для выхода с температуры $T_H = 20^\circ\text{C}$ на температуру $T_K = 300^\circ\text{C}$ за $\tau = 600$ с.

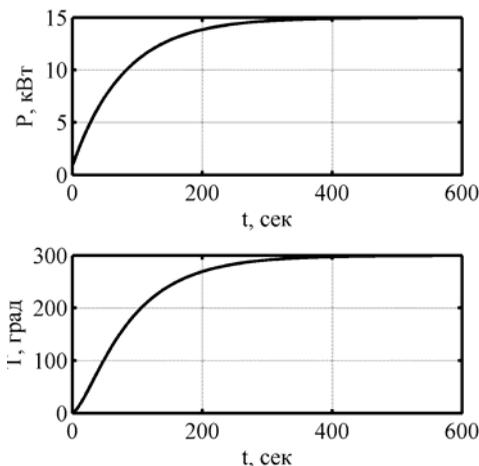


Рис. 1. Пример реализации оптимального закона управления

Параметры МТО заданы коэффициентом $a = 0,05$, а величина δ задана на уровне 25% от величины a .

Приведенный пример показывает, что возможно рассчитать такой закон изменения мощности, который позволит выйти на необходимую температуру за заданное время. При этом за счет постепенного сброса скорости подъема мощности не наблюдается перерегулирования характерного для работы традиционных ПИД-регуляторов. Применение данного способа управления позволит сократить время вывода электротермической установки на режим, что положительно скажется на энергосбережении установки и технологического процесса в целом. После чего может быть применен ПИД-регулятор, способный с высокой точностью поддерживать температуру на постоянном уровне.

Список литературы

1. Юдин, А. В. Каскадное управление многозонными термическими объектами / А. В. Юдин, В. М. Соснов // Вестник РГАТА им. П. А. Соловьева : сб. науч. тр. – Рыбинск, 2006.– С. 99–100.
2. Лобацевич, К. Л. Объединенная модель электротермического процесса / К. Л. Лобацевич, А. В. Юдин // Вестник РГАТА им. П. А. Соловьева : сб. науч. тр. – Рыбинск, 2010. – № 1(16).– С. 157 – 162.

Секция 4

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Абдулвелеева Р. Р., Утямишев Д. М.

Новотроицкий филиал национальный исследовательского технологического университета «МИСиС» (г. Новотроицк, Россия)

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ И ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Аннотация. Описана имитационная модель промышленного устройства автоматической системы перемещения тележки и подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок. Для ее создания была использована объектно-ориентированная среда программирования. Модель реализует как ручной, так и автоматический режим работы.

Ключевые слова: имитационная модель, объектно-ориентированное программирование промышленных устройств.

В процессе разработки и модернизации систем промышленных объектов нужно иметь четкое представление об их устройстве и принципах функционирования. Чтобы получить такое представление нужно визуализировать эти объекты, т.е. на основе разработанного алгоритма реализовать его в компьютерной программе в виде имитационной модели [1 – 4].

Целью работы является использование объектно-ориентированного программирования для разработки имитационных моделей промышленных устройств.

В качестве объектно-ориентированной среды создания модели была выбрана открытая среда Lazarus, основанная на языке ObjectPascal для компилятора FreePascal. Pascal достаточно легковесен и в то же время обеспечивает разработчика всеми необходимыми средствами. Преимуществом Lazarus является кроссплатформенность, т.е. возможность беспрепятственного переноса и последующей работы программы на иную программную и аппаратную платформу [4].

Задача заключается в том, чтобы создать комплекс имитационных моделей различных промышленных устройств с целью изучения их технологических характеристик.

На рисунке 1 представлено главное окно программы. В левой части окна расположена модель устройства, справа – пульт управления и панели с датчиками.

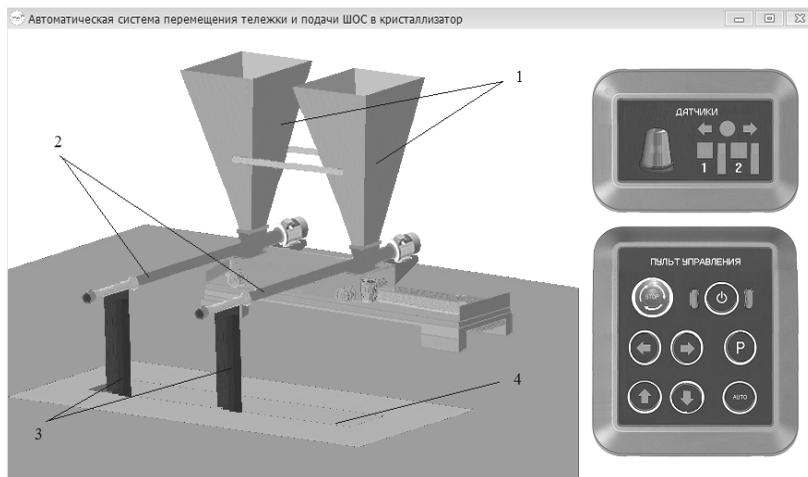


Рис. 1. Главное окно программы:

1 – бункеры; 2 – шнеки; 3 – шлакообразующая смесь; 4 – кристаллизатор

Данная система состоит из подвижной платформы, на которой находятся бункера 1. В них загружается шлакообразующая смесь 3. Во время движения платформы, которая движется только в горизонтальном направлении, шнеки 2 равномерно распределяют шлакообразующую смесь 3 в кристаллизатор 4.

На рисунке 2 изображен пульт управления, с помощью которого модель функционирует и все происходящие процессы информируются датчиками. На пульте управления имеется кнопка включения программы 6. О том, что программа включена, информируют зеленые индикаторы расположенные слева и справа от самой кнопки. Запустив программу, активируются кнопки «←» и «→», отвечающие за перемещение платформы с бункерами.

Показателем уровня шлака в бункерах ШОС являются датчики 4. О том, что платформа движется – информируют датчики 1. Платформу можно остановить с помощью кнопки «P», при нажатии на которую загорается датчик 2. Кнопки «↑» и «↓» отвечают за подачу ШОС через шнеки. Процесс сопровождается подачей сигнала на датчики 3. Зеле-

ный цвет информирует о том, что идет подача, а красный о том, что подачи нет. Так же на пульте расположена кнопка «STOP» – кнопка аварийной остановки программы, нажав на которую загорится лампа 5, и кнопка автоматического режима «AUTO».

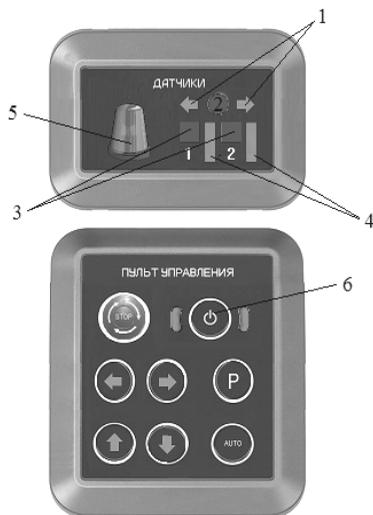


Рис. 2. Пульт управления и табло датчиков:

- 1 – датчик движения платформы; 2 – датчик остановки;
- 3 – датчик подачи ШОС; 4 – датчик уровня ШОС в бункерах;
- 5 – лампа аварийной остановки; 6 – кнопка включения модели

Программа позволяет реализовать автоматический режим управления подачи слябов и ручной режим. Рассмотрим особенности работы программы в этих режимах.

Кнопка ручного режима «←→» активируется нажатием кнопки включения программы. Нажав кнопку «←→» платформа, находящаяся с левого края, начинает движение. Когда платформа с бункерами начинает двигаться автоматически подается шлакообразующая смесь в кристаллизатор. При необходимости подачу смеси можно остановить и возобновить, не останавливая платформу. Весь процесс сопровождается включением соответствующих датчиков. Дойдя до правого края, платформа останавливается, а также прекращается подача шлакообразующей смеси. Далее, нажав кнопку «←→», начинается движение в обратном направлении. С течением времени шлакообразующая смесь

в бункерах заканчивается, о чем говорят показания датчиков. Когда уровень смеси приближается к ее минимуму, то платформа сама автоматически начинает двигаться в начальное положение для загрузки. О том, то шлакообразующая смесь заканчивается, идет ее загрузка и окончание информируют сообщения на панели. После окончания загрузки платформа снова готова к работе.

Автоматический режим «АУТО» реализует тот же самый алгоритм, но без вмешательства извне.

В процессе разработки имитационной модели автоматической системы перемещения тележки и подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок была получена полностью исправная и рабочая компьютерная программа, управляемая с помощью функционального пульта.

Список литературы

1. Лицин, К. В. Исследование электропривода системы подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок / К. В. Лицин, А. А. Гусев, Т. В. Ковальчук // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – Новочеркасск : Издательство Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, 2018. – Т. 61, № 5. – С. 38 – 43.

2. Абдулвелеева, Р. Р. Имитационная модель устройства для подачи слябов на продольную порезку. Научное электронное издание. Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] : тез. докл. Четвертой всерос. молодежной науч. конф. / Р. Р. Абдулвелеева, Д. М. Утямишев ; под ред. Д. Ю. Муромцева и др. ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – С. 120–121.

3. Ковальчук, Т. В. Модернизация системы электропривода стального станка установки межклетьевого охлаждения ЛПЦ-1 АО «Уральская сталь» / Т. В. Ковальчук, К. В. Лицин // Актуальные проблемы в машиностроении. – Новосибирск : Новосибирский гос. техн. ун-т, 2018. – Т. 5, № 1. – С. 60 – 65.

4. Алексеев, Е. Р. FreePascal и Lazarus : учебник по программированию / Е. Р. Алексеев. – М. : ДМК-пресс, 2010. – 438 с.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ
(грант 19-07-01037 А)*

**Алексеев А. В.¹, Лесных И. Е.¹,
Мартыненко Е. В.¹, Туровский Я. А.^{1,2}**

¹Воронежский государственный университет (г. Воронеж, Россия),

²Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН
(г. Москва, Россия)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИДЕООКУЛОГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭРГАТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Аннотация. Представлены результаты управления эргатической системой с использованием движения глаз человека (видеоокулографический интерфейс). Управление перемещением объекта на плоскости может быть применено для повышения эффективности взаимодействия человек–управляемая система. В ходе проведенного статистического анализа выявлена зависимость качества управления от времени освоения интерфейса, темперамента человека и особенностей рабочей памяти.

Ключевые слова: окулографический интерфейс, эргатические системы, цифровой мониторинг, интерфейс человек–компьютер.

Введение. На сегодняшний день в рамках решения широкого спектра задач существует большая группа интерфейсов для управления эргатическими (человеко-машинными) системами. Эти интерфейсы в качестве команд используют сигналы, зарегистрированные с мозга, движения глаз, мышц. Оператор системы управления зачастую принимает решения в условиях дефицита времени, следовательно, для снижения психоэмоциональной нагрузки оператора интерфейс его взаимодействия с системой должен быть максимально быстрым, точным, эргономичным. Одним из интерфейсов, характеризующихся высокой скоростью, точностью работы является видеоокулографический интерфейс. Теоретически данный интерфейс может быть применен в качестве дополнительного канала управления в ряде эргатических систем. В свете сказанного выше представляется значимой оценка освоения операторами видеоокулографического интерфейса в одной из типовых задач управления.

Цель настоящего исследования: оценка эффективности освоения окулографического интерфейса для управления эргатической системой.

Материалы и методы. Методология эксперимента основывается на ранних работах [1, 2].

Разработанная авторами компьютерная программа имитирует управление перемещением объекта на плоскости, тем самым программа обеспечивает обучение и тестирование освоения пользователем видеоокулографического интерфейса. Реализована интеграция аппаратной части видеоокулографического интерфейса с компьютером, настройка параметров видеорегистрации движения значка, калибровка движения глаз пользователя и, в дальнейшем, прохождение пользователем серии задач, сформированных экспериментатором. Испытуемому следует движениями глаз перемещать маркер по полю из одной области в другую, обходя препятствия, положение которых может изменять экспериментатор. Фиксируются координаты положения глаз, маркера, попадание маркера в целевые области и на препятствия.

В проведенных экспериментах приняло участие 40 добровольцев: 22 юноши и 18 девушек в возрасте от 19 до 23 лет, их медианный возраст составил 20 лет. Испытуемые не имели неврологической и психиатрической патологии, не принимали лекарств, влияющих на координацию движений и скорость принятия решения. Испытуемые находились перед экраном монитора (22") на комфортном для себя расстоянии. После проведения калибровки на экране монитора запускалось экспериментальное поле, представляющее собой область старта, прямоугольные границы и область цели. В ходе инструкции, которая в устной форме излагалась испытуемому, запрещалось совмещать маркер с объектами, обозначенными как черные прямоугольники на экране. Совмещение маркера с таким объектом расценивалось как ошибка/промах, которое автоматически фиксировалось программой. На испытуемом был надет шлем с видеокамерой [1], изображение с которой транслировалось на экран с помощью программы. Программа фиксировала и распознавала движение зрачка глаза в четырех направлениях: «вверх», «вниз», «влево», «вправо». Каждому испытуемому было предоставлено 4 попытки для прохождения эксперимента, длительностью 2 минуты. Каждая новая команда могла генерироваться пользователем не чаще 1 раза в секунду. С использованием теста Айзенка, Спилберга и теста на рабочую память были установлены психологические характеристики испытуемых.

В статистическом анализе использовались методы дескриптивной статистики, критерии Крускайла-Уоллеса, Манна-Уитни, Фридмана для парных случаев [4, 5], при этом параметр α принимался равным 5%. Для анализа категориальных переменных использовался точный кри-

терий Фишера. Для статистического изучения связи между явлениями использовали непараметрический метод – коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Учитывался эффект множественных сравнений.

Результаты исследования. Число испытуемых, не достигших цели в первой, второй, третьей и четвертой попытках составило 70, 50, 47,5; 45% соответственно ($p < 0,05$ при сравнении первого и последнего эксперимента). Этот факт демонстрирует эффективность процесса обучения применению данного интерфейса для управления эргатической системой. Число тех, кто дошел до цели, но не начал возвращаться к точке старта в первой, второй, третьей и четвертой попытках составило 5; 7,5; 10; 10% соответственно. Очевидным результатом было то, что пользователь, совершивший меньшее число ошибок при управлении маркером (совмещение маркера с областями экрана, запрещенными для совмещения на данном эксперименте), большее число раз достигал целевой области ($p < 0,05$). Корреляционным анализом выявлена взаимосвязь между результатами теста на экстраверсию (тест Айзенка) и результатами успешного выполнения испытания ($p < 0,05$, $r = -0,39$), что свидетельствует о том, что экстраверты хуже достигают цели, вероятно это обусловлено большей концентрацией внимания интровертов.

Общая динамика улучшения испытуемыми показателей работы с видеоокулографическим интерфейсом позволяет сделать вывод, что способ управления с использованием данной технологии достаточно прост в освоении и может применяться для управления другими эргатическими системами.

Заключение. Представлены результаты исследования параметров движения глаз человека с помощью видеоокулографического интерфейса для управления объектом на плоскости. Показано, что в ходе проводимого эксперимента от попытки к попытке снижалось количество ошибок и число испытуемых, не осуществивших успешное управление, а также зависимость способности такого управления от темперамента человека и особенностей памяти. Полученные результаты будут полезными для создания и применения интерфейсов человек-компьютер в цифровом мониторинге при управлении эргатическими системами и могут служить отправной точкой для разработки высокоскоростных окулографических интерфейсов с существенно более широким, по сравнению с существующим, функционалом.

Список литературы

1. Туровский, Я. А. Анализ движения глаз человека при управлении самоходным шасси с использованием системы видеоокулографиче-

ского интерфейса / Я. А. Туровский, С. Д. Кургалин, А. В. Алексеев // Сенсорные системы. – 2017. – Т. 31(№ 1). – С. 51 – 58.

2. Кургалин, С. Д. Использование окулографического интерфейса для управления компьютером / С. Д. Кургалин, Я. А. Туровский, А. В. Алексеев // Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес. – 2017 – С. 78 – 81.

3. Косников, Ю. Н. Построение интерфейса человек-компьютер для системы автоматизированного управления сложными объектами / Ю. Н. Косников // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 4(32). – С. 82 – 92.

4. Гланц, С. Медико-биологическая статистика / С. Гланц. – М. : Практика, 1998. – 459 с.

5. Рунион, Р. Справочник по непараметрической статистике. Современный подход / Р. Рунион. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 198 с.

Безрядин В. А., Хворов Р. А.

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж, Россия)

ОЦЕНКА ПРИОРИТЕТНОСТИ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАДИОКОНТРОЛЯ

Аннотация. Рассмотрен методический аппарат по оценке приоритетности обоснованных направлений совершенствования радиоконтроля объектов защиты.

Ключевые слова: радиоконтроль, объекты защиты.

Возрастает роль радиоконтроля (РК) за соблюдением установленного порядка передачи служебной информации при использовании открытых каналов радиосвязи, позволяющего оценить степень утечки информации, составляющей государственную и служебную тайну, по доступным для радиоразведки каналам радиосвязи.

Для обоснованного выбора приоритетных направлений совершенствования РК объектов защиты требуется разработка соответствующего методического аппарата по оценке приоритетности указанных направлений. Мероприятия по совершенствованию РК требуют определенных и зачастую немалых затрат, поэтому в условиях финансовых ограничений их реализация требует поэтапной реализации. Соответственно актуальной является разработка методического подхода к оценке приоритетности указанных направлений.

В общем случае, оценка приоритетности направлений РК должна включать:

- выбор и обоснование показателей и критериев, по которым будет осуществляться оценка приоритетности направлений;
- разработку методологии проведения оценки приоритетности направлений совершенствования РК;
- непосредственно расчет оценки приоритетности направлений совершенствования РК.

Одной из основных задач при оценке приоритетности данных направлений является выбор показателей и критериев, с использованием которых будет проводиться такая оценка. Учитывая, что задача РК сложная и многокритериальная, способом ее решения является введение составного критерия вида:

$$W = a_1W_1 + a_2W_2 + \dots + a_nW_n, \quad (1)$$

где W_1, W_2, \dots, W_n – частные критерии, а a_1, a_2, \dots, a_n – весовые коэффициенты (или коэффициенты важности), сумма которых равна 1.

Поскольку каждый из частных критериев отражает разные и нередко противоречивые показатели (например, затраты ресурсов, которые желательно уменьшить, и боеготовность, которую необходимо повысить), имеющие свою размерность, обобщенный критерий W может не иметь ясно выраженного физического смысла. Его следует рассматривать лишь как меру предпочтительности. Веса устанавливаются, как правило, экспертным путем [1].

С учетом того, что РК является многофакторным процессом, в качестве показателей целесообразно принять как целевые, так и функциональные показатели.

В качестве внешнесистемного показателя эффективности РК целесообразно определить показатель предотвращенного ущерба:

$$W_{\text{пр. ущ}} = \sum_{j=1}^N W_{\text{ущ } j}, \quad (2)$$

где $W_{\text{ущ } j}$ – предотвращенный ущерб за счет утечки информации, представляющей интерес для радиоразведки, или информативных материалов, по всем j -м каналам радиосвязи (КРС).

Необходимость введения такого показателя определяется тем, что РК является специфической формой защиты информации от ее утечки по открытым КРС, используемым должностными лицами ВВС. При этом критерием для данного показателя целесообразно опреде-

лить максимизацию значения предотвращенного ущерба $\max \{ W_{\text{пр.ущ}} \}$ за счет утечки по всем j -м КРС. По сути это и есть целевая функция РК, а $W_{\text{пр.ущ}}$ – целевой показатель РК.

В результате принятия мер по исключению или снижению вероятности вскрытия смысловой информации, представляющей интерес для радиоразведки, по j -му КРС, происходит предотвращение потенциального ущерба $W_{\text{пр.ущ}j}$, который может быть нанесен в результате утечки информации за счет принятия контрмер по снижению эффективности образцов вооружения, военной и специальной техники, нормального функционирования военных объектов и других контрмер, предпринимаемых противником.

Значение $W_{\text{пр.ущ}j}$ можно определить, как:

$$W_{\text{пр.ущ}j} = W_{\text{пр.ущ макс}j} I_{j\text{ср}}, \quad (3)$$

где $W_{\text{пр.ущ макс}j}$ – максимальный предотвращенный ущерб, который может быть нанесен за счет утечки информации по j -му каналу; $I_{j\text{ср}}$ – средневзвешенный (нормированный) коэффициент информативности j -го КРС, принимающий значения от 0 до 1 и характеризующий его информативность, определяемый следующим образом:

$$I_{j\text{ср}} = \frac{I_j}{I_{\text{макс}}}, \quad (4)$$

где I_j – коэффициент информативности j -го КРС; $I_{\text{макс}}$ – максимальный коэффициент информативности КРС.

Функциональные (внутренние) показатели эффективности РК определялись с учетом показателей, традиционно используемых для оценки качества технического контроля [2]:

- O_k – оперативность контроля;
- P_k – полнота контроля.

В данном подходе предполагается, что часть операций операторов по обработке информации будет автоматизирована (например, при выявлении признаков нарушений при обработке информативных файлов).

В качестве показателя полноты РК целесообразно определить показатель $P_{\text{рк}} = F \{ P_{\text{крс}}, P_{I_{\text{крс}}}, P_{\text{инф}} \}$, с учетом специфики РК.

С учетом приведенных показателей эффективности РК, а так же их критериев, соотношение для расчета общего показателя эффективности РК, который будет использован для оценки приоритетности направлений совершенствования РК в ВВС, принимает следующий вид:

$$W_{\text{РК}} = a_1 W_{\text{пр.ущ}} + a_2 O_{\text{РК}} + a_3 \Pi_{\text{РК}}. \quad (12)$$

Данное расчетное соотношение предполагает, что для обобщенного критерия эффективности РК значение суммы предотвращенного ущерба за счет утечки информации, представляющей интерес для радиоразведки (информативных материалов), по всем j -м КРС $W_{\text{пр.ущ}}$, оперативности $O_{\text{РК}}$ и полноты радиоконтроля $\Pi_{\text{РК}}$, должно быть максимизировано при соответствующих ограничениях на затраты:

$$\max \{ W_{\text{РК},s} \} \quad \text{при} \quad C_{\text{РК},s} \leq C_{\text{РК,доп},s}, \quad (13)$$

где $C_{\text{РК},s}$ – затраты на реализацию S -го направления совершенствования РК; $C_{\text{РК,доп},s}$ – допустимые затраты на реализацию S -го направления совершенствования РК.

Приоритетность направлений совершенствования РК, влияющих на значения данного показателя, будет определяться исходя из максимизации значения полноты РК (его составляющих).

Таким образом, обобщенный критерий с использованием весов можно сформулировать следующим образом: выбрать такое направление (такие направления) совершенствования РК, при котором сумма предотвращенного ущерба за счет утечки информации, представляющей интерес для радиоразведки, или информативных материалов, оперативности и полноты РК будут максимальными, а расход затрачиваемых средств на его реализацию не превысит заданного уровня.

Список литературы

1. Жуков, Г. П. Военно-экономический анализ и исследование операций / Г. П. Жуков, С. Ф. Викулов. – М. : Воениздат, 1987. – 80 с.
2. Технический контроль в машиностроении: Справочник проектировщика / под общ. ред. В. Н. Чупырина, А. Д. Никифорова. – М. : Машиностроение, 1987. – 512 с.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация. Рассмотрен вопрос выбора наиболее оптимального и рационального программного обеспечения и сравнительный анализ выбранного софта, путем выявления достоинств и недостатков каждого симулятора. Произведено краткое ознакомление с каждым пакетом, наглядно показан интерфейс программ и симуляция электрических схем.

Ключевые слова: моделирование, симуляция электрических схем.

Целью является выбор оптимального программного обеспечения для решения задач электроэнергетики.

LTspice является бесплатной компьютерной программой. Реализует SPICE электронная схема-тренажер полупроводникового производителя LinearTechnology, теперь часть AnalogDevices.

1. Достоинства и недостатки ПО LTspice

+	–
Программа позволяет быстро видоизменять компоненты и параметры электронных схем, обнаруживать оптимальные решения	Глубина иерархии и размер схемы ограничиваются только ресурсами компьютера
Возможна загрузка списка соединений, сгенерированного другими инструментами для рисования схем или созданного вручную	
ПО отличается малым объемом необходимого дискового пространства и более высокой скоростью моделирования процессов	
Язык интерфейса LTspice – английский, однако в интернете можно найти самодельный русификатор	

Программа EasyEDA производства KHP – это бесплатный онлайн симулятор электрической цепи, который очень подходит для разработки электронных схем. Отметим достоинства и недостатки данного пакета.

2. Достоинства и недостатки ПО EasyEDA

+	–
Бесплатное использование программного обеспечения	Набор только стандартных компонентов, без возможности произвольного выбора параметров
Большая база готовых схем, возможность обмениваться своими проектами в личном профиле	Ограниченные возможности по проведению электрических измерений
Иностранная программа предоставляет онлайн русификатор, на официальном сайте	Отсутствие измерительных компонентов, таких как амперметр и ваттметр
Работа, как и без скачивания и установки, так и стационарно	Отсутствие различных генераторов импульсов
Возможность конвертирования принципиальной схемы в печатную плату для последующего изготовления	

Программа имитационного моделирования Multisim, по сравнению с первым ПО, является более мощным программным обеспечением, из-за возможности более глубокого анализа процессов в исследуемой модели.

3. Достоинства и недостатки ПО Multisim

+	–
Безрежимное редактирование	Нет официального русификатора
Широкий ассортимент электронных компонентов и измерительных приборов	Платная лицензия (от 400\$)
Возможность произвольного выбора параметров элемента	

+	–
Интуитивный и удобный интерфейс	
Программа проста в обращении и не требует глубоких знаний в компьютерной технике	
Ежегодные обновления ПО	
Широкое применение в различных сферах деятельности: на предприятиях, ВУЗах, в домашних условиях (быту)	

Программа EveryCircuitв отличии от вышеописанных программных обеспечений EveryCircuit используется не только на ПК, но и на мобильных платформах.

4. Достоинства и недостатки ПО EveryCircuit

+	–
Предоставляется русифицированная версия программы	Платная подписка (14\$ в год)
Работа на ПК без скачивания и установки на веб-странице	Малый ассортимент и функционал измерительных приборов
Возможность моделирования в мобильных системах Android и iOS	Отсутствие конкретных элементов схемы
Эргономичный и интерактивный интерфейс	Компоненты имеют ограниченную способность имитации параметров
Пакет очень прост в использовании	

Делая вывод, отметим, что в настоящее время применение компьютерного моделирования в электротехнике позволяет облегчить и удешевить проектирование и изготовление электротехнических устройств, не используя дорогих измерительных приборов.

Таким образом, Multisim является ведущим за счет большого спектра встроенных функций, предназначенных для детального исследования энергетических систем, а также из-за удобства интерфейса и огромного выбора компонентов.

Список литературы и источников

1. Быковская, Л. В. Применение интерактивных и информационных технологий в преподавании курса электротехники / Л. В. Быковская, В. В. Быковский // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с международным участием). – Оренбург, 2013. – С. 285 – 288.
2. Моделирование в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Ф. Шаталов, И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко и др. – Ставрополь : АГРУС, 2014. – 140 с. – ISBN 978-5-9596-1059-3. – URL : <http://znanium.com/bookread2.php?book = 514263>
3. Карлащук, В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Инструментальные средства и моделирование элементов практических схем / В. И. Карлащук, С. В. Карлащук. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 140 с. – (Библиотека инженера). – ISBN 978-5-91359-009-1; То же [Электронный ресурс]. – URL : <http://biblioclub.ru/index.php?page = book&id = 117810>.

Васильев Е. М.¹, Крутских И. В.²

¹Воронежский государственный технический университет
(г. Воронеж, Россия),
²ООО Спецэлектромонтаж (г. Воронеж, Россия)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О НАЗНАЧЕНИЯХ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Аннотация. Решается задача минимизации потерь электроэнергии в распределительных многоуровневых сетях с реактивной составляющей в передаваемой мощности. Предложена математическая модель указанной задачи, позволяющая определить места установки и мощности источников реактивной энергии по критерию минимума суммарных приведенных затрат. Приведен числовой пример решения на условной сети.

Ключевые слова: распределительные сети, реактивная мощность, задача о назначениях.

Введение в проблему. Рассмотрим многоуровневую электрическую распределительную сеть и представим ее ориентированным графом Q в виде матрицы смежности n узлов. Каждый элемент этой матрицы равен значению q_{ij} передаваемой по участку ij реактивной мощности, включая мощность q_{jj} , необходимую для технологического обслуживания в узле j .

При установке в сети источников реактивной мощности (ИРМ) возникает задача выбора – назначения этих источников в узлы сети таким образом, чтобы были обеспечены наименьшие суммарные приведенные к единице времени затраты $Z = Z_{\text{Л}} + Z_{\text{ИРМ}}$, связанные с потерями энергии в линиях передач ($Z_{\text{Л}}$), а также с приобретением, установкой и эксплуатацией ИРМ ($Z_{\text{ИРМ}}$) [1–4].

Математическая модель задачи. Введем в рассмотрение величины:

w_{ij} – мощность ИРМ, устанавливаемого в узле j и используемого для компенсации мощности q_{ij} .

r_{ij} – фактическое значение реактивной мощности, передаваемой по участку ij в сети с установленными ИРМ;

$j_{\text{кон}}$ – номера конечных узлов сети. Начальному узлу сети присваиваем индекс $i = 1$.

В принятых обозначениях условие баланса реактивных мощностей в сети без ИРМ имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n q_{ij} = \sum_{k=1}^n q_{jk}; \quad j = \overline{1, n}$$

и является необходимой предпосылкой разрешимости задачи.

В качестве экономических критериев решения будем использовать функции:

$Z_{\text{Л}} = f(r)$, определяемую отдельно для каждого участка сети:

$$Z_{\text{Л}ij} = f_{ij}(r_{ij}),$$

f_{ij} – некоторая, как правило, нелинейная функция, например,

$$f_{ij}(r_{ij}) = a_{ij}r_{ij} + b_{ij}r_{ij}^2; \quad (1)$$

$Z_{\text{ИРМ}} = g(w)$, где $g = \{g_{ij}\}$ – функции, определяющие зависимость капиталовложений и эксплуатационных расходов от мощности w источника реактивной мощности, например:

$$g_{ij}(w_{ij}) = c_{ij}w_{ij}, \quad (2)$$

или

$$g_{ij}(w_{ij}) = d_{ij} + c_{ij}w_{ij}. \quad (3)$$

Все параметры a, b, c, d экономических критериев задаются соответствующими матрицами размером $n \times n$.

Для критериев (1), (2) рассматриваемая задача может быть сформулирована в виде:

$$Z = e^T \left(\overrightarrow{ar} + \overleftarrow{br}r + \overrightarrow{cw} \right) e \rightarrow \min; \quad (4)$$

$$r_{ij} = q_{jj} - w_{ij} + \sum_{k=1}^n r_{jk}, \text{ для } i \neq j; \quad (5)$$

$$r_{ij\text{кон}} = q_{ij\text{кон}} - w_{ij\text{кон}}; \quad (6)$$

$$q_{ij} \geq w_{ij} \geq 0; \quad r_{ij} \geq 0; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (7)$$

где $e = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^T$ – вспомогательная матрица размером $n \times 1$.

Ограничения (5), (6) соответствуют балансу реактивных мощностей в сети с установленными ИРМ.

Задача вида (4) – (7) относится к классу задач квадратичного программирования. При использовании критерия (3), предусматривающего постоянную составляющую затрат на ИРМ, не связанную с его мощностью, в рассматриваемую задачу необходимо ввести дополнительные целочисленные переменные:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если ИРМ установлен в узле } j; \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

В этом случае функция (4) суммарных затрат примет вид:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij} r_{ij} + b_{ij} r_{ij}^2 + (d_{ij} + c_{ij} w_{ij}) x_{ij}) \rightarrow \min. \quad (8)$$

Численное решение задачи. В качестве числового примера, иллюстрирующего работоспособность предложенной модели, использована четырехуровневая сеть, ненулевые параметры которой представлены в табл. 1.

1. Числовые характеристики примера

Параметр	Индексы ij параметров q, a, b, c								
	1,2	2,3	2,4	3,5	3,6	4,7	4,8	8,9	8,10
q	80	30	40	10	15	5	25	5	15
a	10	8	8	6	6	6	6	5	5
b	6	4	4	3	3	3	3	1	1
c	140	42	42	35	35	35	35	42	42

Результат решения представлен в табл. 2 в сопоставлении с вариантами:

- 1) сеть без установки источников реактивной мощности;

- 2) сеть с полной компенсацией реактивной мощности в каждом узле;
- 3) оптимальный вариант;
- 4) ближайший конкурентоспособный вариант установки ИРМ.

2. Результаты решения

Вариант	Индексы i, j величин w									Z
	1,2	2,3	2,4	3,5	3,6	4,7	4,8	8,9	8,10	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53 365
2	10	5	10	10	15	5	5	5	15	4095
3	0	5	10	10	15	5	7	4	14	3393
4	0	5	10	10	15	5	5	5	15	3395

Заключение. Решение задачи распределения источников реактивной мощности в многоуровневых распределительных системах требует согласованного и системного подхода к регулированию этой мощности на различных уровнях энергосистем – в высоковольтных системообразующих сетях и в распределительных сетях низкого напряжения. Реализация такого подхода предполагает использование соответствующих математических моделей и численных методов. Предложенная в статье оптимизационная модель, сформулированная в классе задач квадратичного программирования, и результаты ее тестового решения подтверждают высокую эффективность применения информационных технологий в рассматриваемой проблеме.

Список литературы

1. Воротницкий, В. Э. Энергетическая эффективность и компенсация реактивной мощности в электрических сетях. Проблемы и пути решения / Э. В. Воротницкий // Энергосовет. – 2017. – № 1(47). – С. 44 – 53.
2. Об адресном распределении мощностей в электрических сетях / А. Б. Баламетов, Э. Д. Халилов, Т. М. Исаева, Ф. Г. Исгендеров // Программные продукты и системы. – 2016. – № 1(113). – С. 126 – 133.
3. Воротницкий, В. Э. Оптимизация режимов электрических сетей 220–750 кВ по реактивной мощности и уровням напряжения / В. Э. Воротницкий, М. А. Рабинович, С. К. Каковский // Энергия единой сети. – 2013. – № 3(8). – С. 50 – 59.
4. Васильев, Е. М. Синтез электрических сетей с оптимальной конфигурацией / Е. М. Васильев, И. В. Крутских // Вестник ВГТУ. – 2011. – № 4. – С. 16 – 20.

Венцорова Н. В.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СКАНОВ ОПТИЧЕСКОГО КОГЕРЕНТНОГО ТОМОГРАФА ДЛЯ АНАЛИЗА РАСSEИВАЮЩИХ СВОЙСТВ ДИОКСИДА ТИТАНА И ОКСИДА ЦИНКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОПТИЧЕСКОГО ФАНТОМА

Аннотация. Проведен экспериментальный сравнительный анализ рассеивающих свойств, диоксида титана и оксида цинка, для дальнейшего применения при изготовлении физической модели оптического фантома.

Ключевые слова: оптический фантом, диоксид титана, оксид цинка, рассеивающие свойства.

В последние два десятилетия активно разрабатываются различные фантомы оптических тканей, которые способны имитировать геометрические структуры и оптические свойства биологических тканей для применения в терапевтических и диагностических целях в биомедицинской оптике [1, 2]. Например, для проверки оптического когерентного томографа (ОКТ) или в методах флуоресцентной диффузионной томографии и оптической диффузионной спектроскопии.

Оптический фантом, имитирующий биологическую ткань, должен учитывать такой параметр как рассеяние света, вызванное различными показателями преломления компонентов ткани. На рассеяние влияет также размер и концентрация составляющих ткани частиц. Этот факт позволяет использовать рассеяние как основу диагностических методов для исследования морфологических изменений в ткани [3, 4]. Актуальной задачей является создание оптического фантома, имитирующего рассеивающие свойства биологической ткани.

Для изготовления такого фантома использовался прозрачный двухкомпонентный силикон, в качестве контрольной рассеивающей среды, а также рассеивающие добавки: диоксид титана (TiO_2) и оксид цинка (ZnO). Двухкомпонентный силикон не токсичен, показывает стабильность в большом интервале температур ($-55 - 200$ °C), способен отвердевать при комнатной температуре без выделения побочных продуктов. А оба других компонента являются фотоактивными материалами, именно эта способность позволяет рассеивать свет или поглощать энергию ультрафиолетового спектра [5]. Было изготовлено 3 фантома, для определения наиболее подходящего материала для

имитации рассеивающих свойств биологической ткани. Также стоит отметить, что концентрация рассеивающих добавок в силиконе была одинаковая (1:10).

Используемый аппарат ОКТ 1300-Е имеет широкополосный источник света, представляющий собой суперлюминисцентный диод с рабочей длиной волны $1,3 \text{ мкм} \pm 0,13 \text{ мкм}$, оптическая мощность в оптическом разъеме или дистальном разделе зонда от 0,5 мВт до 9 мВт, тип зонда – волоконно-оптический датчик многоцветного использования с внутренним электромеханическим сканированием. В основе действия ОКТ лежит измерение времени задержки светового луча, отраженного от исследуемого объекта. Источником излучения в современных приборах ОКТ является широкополосный суперлюминисцентный светодиод. В ходе исследования световой импульс делится надвое, при этом одна его часть отражается от исследуемого объекта, а другая (контрольная), от специального отражающего зеркала. Затем прибор суммирует отраженные сигналы, что вызывает эффект интерференции. Полученная информация обрабатывается с помощью сложного математического алгоритма и формируются так называемые сканы исследуемой области (рис. 1).

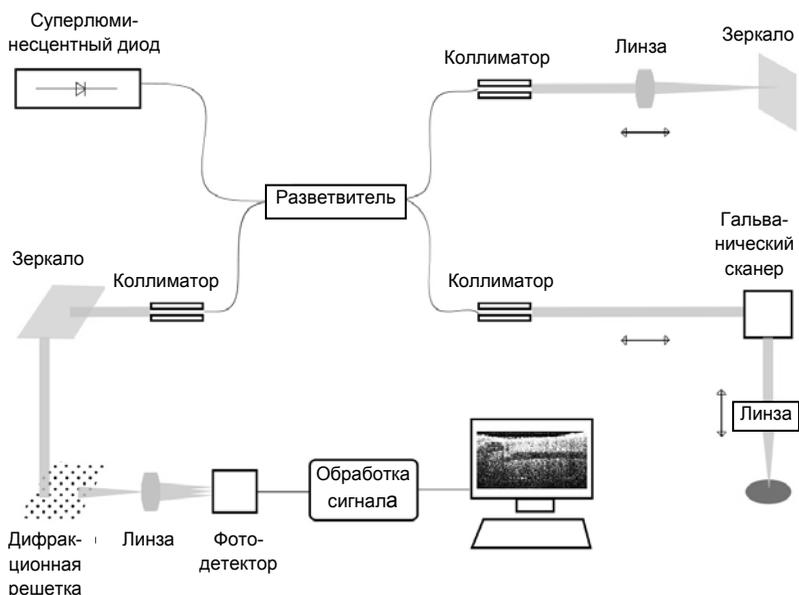


Рис. 1. Принцип работы ОКТ 1300-Е

Далее изображения были обработаны с помощью адаптивного порогового метода. Его суть состоит в том, что выбирается некоторое значение T и все точки, имеющие $f(x, y) \leq T$, являются частью информативного объекта, а в ином случае трактуются как часть фона. Таким образом, получаемое изображение можно определить следующей формулой:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases}$$

где 1 – это пиксель, соответствующий объекту, а 0 – пиксель, соответствующий фону [6].

На рисунке 2 представлены обработанные ОКТ снимки и соответствующие им гистограммы. Левая часть гистограммы отвечает за черные цвета, средняя – за полутона, а правая – за белые области. Фантом, состоящий из двухкомпонентного силикона и TiO_2 , показывает наибольшее количество более светлых компонентов, что может говорить о большей рассеивающей способности, чем у других экспериментальных образцов.

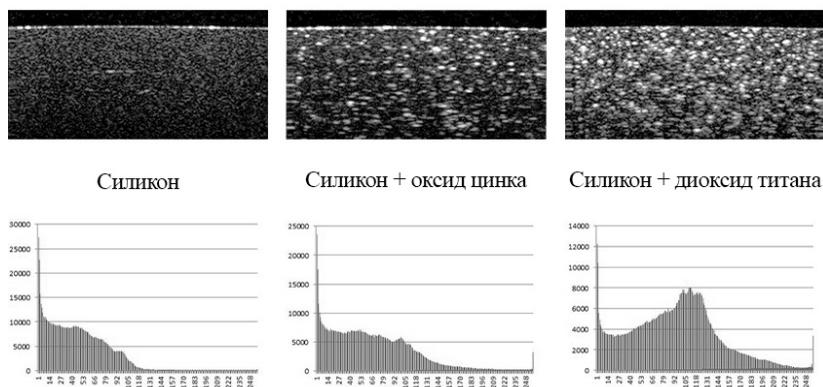


Рис. 2. ОКТ изображения фантомов и их гистограмма

Таким образом, порошок диоксида титана (TiO_2) можно считать наиболее применимым в качестве рассеивающего материала для создания заданных оптических фантомных свойств.

Список литературы

1. Compression elastography and endoscopic optical coherence tomography for biomechanical properties evaluation of cerebral arteries walls with aneurysm and their phantoms / S. V. Frolov, A. Y. Potlov,

T. A. Frolova, S. G. Proskurin // AIP Conference Proceedings. – 2019. – V. 2140, art. № 020020. EID: 2-s2.0-85071228513. DOI: 10.1063/1.5121945.

2. Potlov, A. Yu. Neuroimaging technique using time-resolved diffuse optical tomography and inhomogeneity localization algorithm / A. Yu. Potlov, S. V. Frolov, S. G. Proskurin // Saratov Fall Meeting 2018: Optical and Nano-Technologies for Biology and Medicine – Proceedings of SPIE. – 2019. – V. 11065, art. № 110650Z. DOI: 10.1117/12.2523239 (Web of Science, Scopus).

3. Nanoparticle-free tissue-mimicking phantoms with intrinsic scattering / M. S. Wrobel, A. P. Popov, A. V. Bykov, V. V. Tuchin, Malgorzata Jedrzejewska-Szczerska. // Biomedical Optics express. – 2016. – V. 7, № 6. – P. 2088 – 2094.

4. Fabrication of various optical tissue phantoms by the spin-coating method / Jihoon Park, Myungjin Ha, Sungkon Yu, and Byungio Jung // doi.org/10.1117/1.JBO.21.6.065008. – 2016. – № 21(6).

5. Тупикин, Е. И. Общая нефтехимия : учебное пособие / Е. И. Тупикин. – 2-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2019. – С. 198–199.

6. Селянкин, В. В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений : учебное пособие / В. В. Селянкин. – СПб. : Лань, 2019. – С. 19 – 33.

Ворогушин П. А., Фетисов И. Н.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

МОДЕЛЬ ФРАКТАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Аннотация. Описывается процесс моделирования фрактальной антенны, на основе преобразования классической рамочной антенны.

Ключевые слова: фрактальная антенна, диаграмма направленности.

На сегодняшний день существует большое множество различных видов антенн, в зависимости от назначения и области применения они имеют различную конструкцию.

Фрактальные антенны – относительно новый класс электрически малых антенн (ЭМА), принципиально отличающийся своей геометрией от известных решений. По сути, традиционная эволюция антенн базировалась на евклидовой геометрии, оперирующей объектами целочисленной размерности (линия, круг, эллипс, параболоид и т.п.). Главное отличие фрактальных геометрических форм – их дробная размерность, что внешне проявляется в рекурсивном повторении в воз-

Источники
Нагрузки

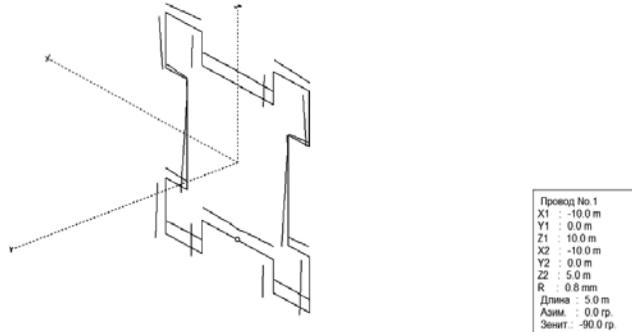


Рис. 4. Вид антенны после первого преобразования

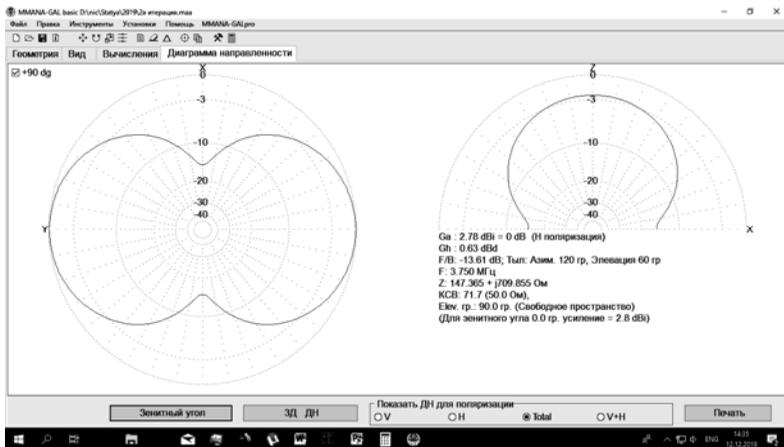


Рис. 5. Диаграмма направленности и параметры антенны после первого преобразования

После проведения первого преобразования получены вид и диаграмма направленности антенны, представленные на рис. 4 и 5.

После второго преобразования получены результаты, представленные на рис. 6 и 7.

Результаты моделирования показывают, что в результате таких преобразований параметры антенны меняются не существенно, при этом площадь, занимаемая антенной, уменьшается. Таким образом, фрактал может заполнять пространство, занимаемое антенной более эффективной формой, чем антенны традиционной евклидовой формы, что позволяет говорить о его использовании в качестве элемента фазированной антенной решетки.

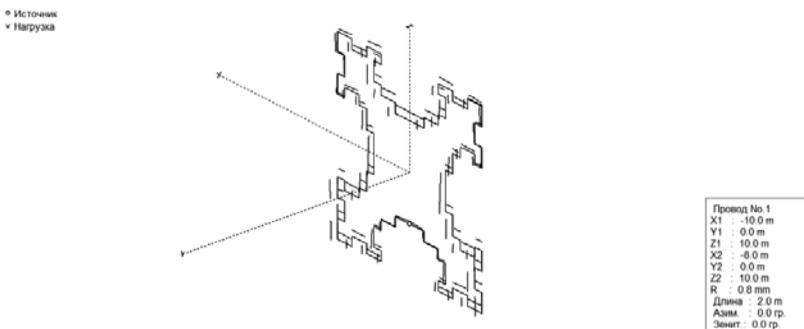


Рис. 6. Вид антенны и распределение токов в ее элементах после второго преобразования

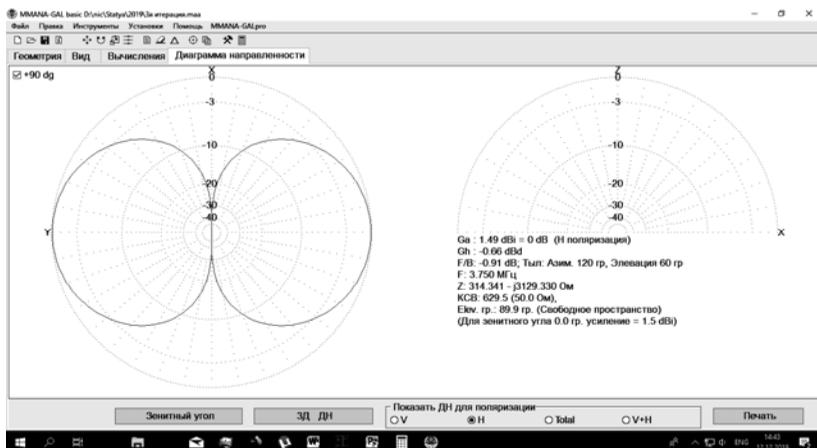


Рис. 7. Диаграмма направленности и параметры антенны после второго преобразования

Список литературы

1. Потапов, А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации / А. А. Потапов. – М. : Логос, 2002. – 664 с.
2. Слюсарь, В. И. Фрактальные антенны / В. И. Слюсарь // Высокие технологии. – 2002. – № 8. – С. 27 – 32.
3. Пудовкин, А. П. Основы теории антенн : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : ТГТУ, 2011. – 92 с.

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук,
доцента Н. А. Кольтюкова.*

Галимова Е. Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна (г. Санкт-Петербург, Россия)

ОСОБЕННОСТИ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ (АСУРЭО)

Аннотация. Рассмотрены особенности автоматизированных систем управления (АСУ) энергетического комплекса, влияющие на планирование процесса тестирования программных средств. На основе проведенного исследования предложены основные направления тестирования программного обеспечения, применимые для АСУ в энергетическом комплексе в современных условиях.

Ключевые слова: тестирование программного обеспечения, автоматизированная система управления, ремонт энергетического оборудования.

Введение. Актуальной проблемой для энергетического комплекса РФ является достаточно высокий износ оборудования. Степень износа основных фондов для организаций, занимающихся экономической деятельностью в сфере обеспечения электрической энергией, газом и паром, составила на конец 2018 г. 46,6% [1]. Автоматизированные системы управления широко применяются на предприятиях энергетического комплекса [2]. В частности, программный комплекс «Автоматизированная система управления ремонтами энергетического оборудования» (АСУРЭО) разработан для повышения эффективности процесса ремонта энергетического оборудования [3]. В процессе жизненного цикла программных средств АСУ важное место занимает тестирование. Целью данной работы является описание подходов к тестированию программных средств АСУ на примере АСУРЭО.

Основная часть. Затраты проекта разработки программного обеспечения рекомендуется распределить по правилу 40-20-40 [4], где 40% затрат отводится на проектирование, 20% – на написание программного кода, 40% – на тестирование. Проблема удобства тестирования программного обеспечения (testability) должна ставиться на стадии проектирования. Согласно стандарту ISO 9126, testability является одним из критериев удобства сопровождаемости (maintainability) [5].

Отличие термина «автоматизированный» от термина «автоматический» заключается в том, что в данном случае необходимо участие оператора при осуществлении ряда операций. АСУРЭО включает в себя ряд подсистем (модулей): оперативные заявки, планы ремонтов, оперативный журнал, администрирование, метролог. Существует два основных

подхода к тестированию взаимодействия программных модулей: монолитный и пошаговый [6]. При монолитном подходе проводится тестирование каждого модуля в отдельности, затем они комбинируются в программу, проводится комплексное тестирование. При пошаговом тестировании модули добавляются к тестовой модели последовательно, по одному. Каждый из подходов имеет свои преимущества.

В процессе функционального тестирования проверяется соответствие программной реализации требованиям, указанным в техническом задании. Данный вид тестирования чаще проводят без доступа к программному коду. Имитируется пользовательское взаимодействие с системой. Основными функциями АСУРЭО, которые должны быть протестированы, являются обработка заявок, маршруты внутреннего согласования заявок, синхронизация процессов открытия и закрытия заявок, ведение электронного журнала, создание графиков ремонтов и технического обслуживания, работа с базой оборудования, автоматическое формирование документации. Для автоматизации функционального тестирования разработан ряд инструментов: UFT, IBMRFT, TestPlanteggplant и другие.

Для мобильной версии АСУРЭО рекомендуется применить кроссплатформенное тестирование (проверка работы программного обеспечения на различных операционных системах). Формируется список платформ, наиболее распространенных среди потенциальных пользователей. Например:

1. Операционная система Android
 - 1.1 Samsung Galaxy S10e
 - 1.2 Samsung Galaxy Note 10 +
 - 1.3 Google Pixel 3
 - 1.4 Samsung Galaxy A70
 - 1.5 Nexus 7
2. Операционная система iOS
 - 2.1 iPhone 11
 - 2.2 iPhone XS Max
 - 2.3 iPhone X
 - 2.4 iPad Air 2
 - 2.5 iPad 4 Pro
3. Операционная система Windows
 - 3.1 Nokia Lumia 930.

Разработчики указали InternetExplorer в качестве браузера, используемого по умолчанию, поэтому проверки на различных типах браузеров не проводятся. Программное обеспечение тестируется только на наиболее распространенных версиях данного браузера. Кроссплатформенное тестирование может проводиться как в ручную, так и

с использованием средств автоматизации. Наиболее востребованные средства автоматизации кроссплатформенного тестирования: Appium, MonkeyTalk, Katalon, EggPLANT, Browsershots, BrowserStack и другие.

Нагрузочное тестирование проверяет устойчивость системы при одновременной работе большого количества пользователей со значительными объемами данных, является клиенто-ориентированным видом тестирования. Инструменты для автоматизации: Jmeter, Locust, LoadRunner, Gatling и другие.

В настоящее время распространены глобальные, корпоративные и локальные сети с открытыми протоколами, поэтому проблема информационной безопасности АСУ актуальна [7]. Необходимо провести тестирование безопасности, а именно проверки на целостность, доступность и конфиденциальность пользовательских данных. В данном случае тестировщик выступает в роли взломщика. Перед началом тестирования рекомендуется составить список потенциальных уязвимостей программного обеспечения. Далее расставить приоритеты по степени критичности. После этого перейти к непосредственной разработке тестов. Для веб-версии АСУРЭО проводится тестирование на выявление угроз по классификации OWASPTOP 10: инъекции, корректность работы системы аутентификации, межсайтовый скрининг, безопасность конфигурации и так далее. Существует ряд инструментов для проведения тестирования на проникновение: Netsparker, Acunetix, CoreImpact, Metasploit, Wireshark, w3af, Nessus и другие.

Заключение. В статье изложены основные подходы к тестированию АСУ на примере АСУРЭО. Тестирование программных средств важно для повышения производительности, для безопасного и эффективного использования АСУ в энергетической отрасли. Направлением дальнейших исследований является разработка тестовых наборов для предложенного подхода к тестированию АСУ энергетической отрасли.

Список литературы и источников

1. Основные фонды [Электронный ресурс] : материал официального сайта Федеральной государственной службы статистики. – URL : <http://www.gks.ru>. – Заглавие с экрана (дата обращения: 04.12.2019).
2. Shevchenko, A. J. Automated systems of control in power engineering / A. J. Shevchenko // Bulletin of Pavlodar state university. – 2003. – № 3. – P. 92 – 97.
3. Официальный сайт ПК АСУРЭО [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.asureo.ru>. – Заглавие с экрана (дата обращения: 04.12.2019).
4. Орлов, С. Технологии разработки программного обеспечения : учебник / С. Орлов. – СПб. : Питер, 2002. – 464 с.

5. Коцюба, И. Ю. Основы проектирования информационных систем : учебное пособие / И. Ю. Коцюба, А. В. Чунаев, А. Н. Шиков. – СПб. : Университет ИТМО, 2015. – 206 с.

6. Майерс, Г. Искусство тестирования программ / Г. Майерс. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 176 с.

7. Попов, С. И. Способ оценки информационной безопасности автоматизированных систем управления специального назначения / С. И. Попов, С. Ю. Рослов // Вестник воронежского государственного технического университета. – 2009. – № 5. – С. 161 – 163.

Данилов С. Н., Алексеев М. В., Аистов В. С.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ОЦЕНИВАНИЕ КООРДИНАТ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ С ЧАСТОТНО-РАЗДЕЛЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Аннотация. Предложена структура измерителя угловых координат летательного аппарата, позволяющая снизить ошибки оценки фазовых координат сопровождаемого объекта за счет использования моделей с частотно-разделенными характеристиками.

Ключевые слова: маневр, оценивание, модель, летательный аппарат.

Наибольшее применение в практике синтеза алгоритмов оценивания нашел алгоритм линейной фильтрации. Однако, для систем сопровождения, основанных на этом алгоритме, одним из основных источников расходимости является маневр цели, особенно в том случае, когда фильтр сопровождения достиг установившегося режима и усиление его мало.

Предложенный в [1] алгоритм, построенный на основе теории систем с переключением структуры в случайные моменты времени, объединяющий достоинства следящих угломеров с разными степенями астатизма, позволяет на основе анализа статистических характеристик невязок для работы в режиме маневра, использовать преимущественно следящую систему с малым астатизмом, а в установившемся режиме – следящую систему с большим астатизмом. Этот алгоритм превосходит по точности измерения обычные алгоритмы оптимальной линейной фильтрации.

В общем случае возмущения, которые встречаются при оценке координат маневрирующих целей, можно разделить на две группы:

шумоподобные возмущения и возмущения волнообразной структуры (квазигармонические), спектр которых имеет вид, сосредоточенный по оси частот в некоторой области. Шумовые же возмущения не имеют значительной волнообразности.

Таким образом, при сопровождении целей, которые могут выполнять интенсивные маневры, целесообразно использовать две модели: одну двумерную, основанную на системе стохастических дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{\varphi} &= \omega \\ \dot{\omega} &= -\alpha\omega + \beta n_{\omega}(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где α – параметр, обратный постоянной времени маневра; φ – некоторая координата цели; $n_{\omega}(t)$ – гауссовский белый шум с дисперсией R_{ω} и нулевым математическим ожиданием.

На рисунке 1 приведен график одностороннего энергетического спектра процесса, описываемого системой стохастических дифференциальных уравнений (1).

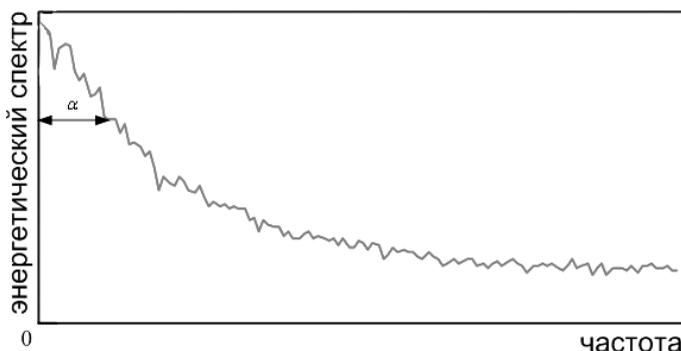


Рис. 1

И вторую, также двумерную модель в виде узкополосного случайного процесса [2], основывающуюся на системе дифференциальных стохастических уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{\omega} &= \omega_1 \\ \dot{\omega}_1 &= -2\alpha\omega_1 - \nu^2\omega + \nu^2 n_{\lambda}(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $n_{\lambda}(t)$ – гауссовский белый шум с дисперсией R_{λ} и нулевым математическим ожиданием; ν – постоянный коэффициент.

Эта система уравнений, как и предыдущая, может быть преобразована и записана в матричной дискретной форме [3]:

$$x_{k+1} = \Phi_{k+1/k} x_k + G_k w_k.$$

Опуская известные преобразования (см., например [4, 5]) запишем матрицы Φ и G для первой модели в следующем виде:

$$\Phi_{k+1/k}^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{\alpha}(1 - \exp(-\alpha T)) \\ 0 & \exp(-\alpha T) \end{bmatrix};$$

$$G_k^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & T - \frac{1}{\alpha}(1 - \exp(-\alpha T)) \\ 0 & 1 - \exp(-\alpha T) \end{bmatrix}.$$

Для второй модели они будут иметь вид:

$$\Phi_{k+1/k}^{(2)} = \begin{bmatrix} f_{11}(\alpha, A, t) & f_{12}(\alpha, A, t) \\ f_{21}(\alpha, A, t) & f_{22}(\alpha, A, t) \end{bmatrix},$$

$$G_k^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & g_{12}(\alpha, A, t) \\ 0 & g_{22}(\alpha, A, t) \end{bmatrix},$$

где $A = b^2 - \alpha^2$; b – центральная частота модели узкополосного случайного процесса.

На рисунке 2 приведен вид спектра сигнала на выходе фильтра, описываемого системой уравнений (2) при подаче на его вход широкополосного шума.

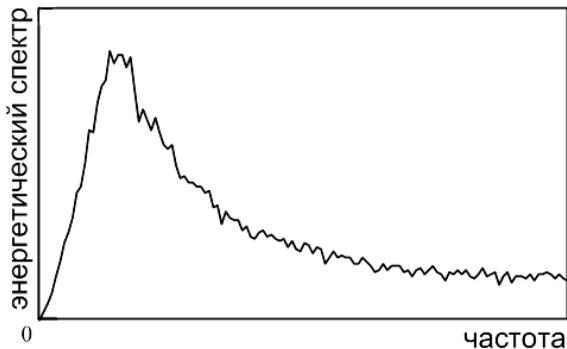


Рис. 2

Для того, чтобы показать целесообразность использования в системе такого фильтра, сравним ошибки двухмерного фильтра Калмана, трехмерного фильтра Калмана и фильтра, реализованного на основе модели вида (2) при подаче на их входы тестового сигнала в виде коррелированного шума, характеристики которого, а именно полоса частот и средняя амплитуда, в середине времени наблюдения резко меняется, что имитирует начало маневра. Каждый фильтр настраивался по минимуму ошибки на выходе.

На рисунке 3 приведены кривые, показывающие ошибки фильтров Δ в зависимости от мощности шума наблюдения P .

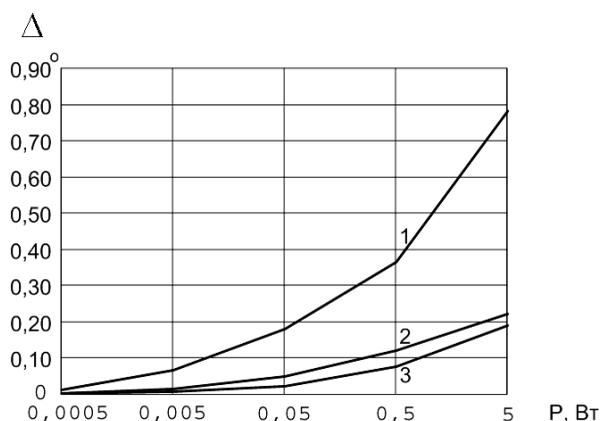


Рис. 3

На рисунке обозначено: 1 – ошибка двухмерного фильтра, 2 – ошибка трехмерного фильтра, 3 – ошибка фильтра на основе модели (2). Величина ошибки определялась при усреднении по 100 реализациям наблюдений. Хорошо видно, что фильтр на основе модели (2) имеет наименьшую ошибку.

Полученные данные показывают, что введение в состав следящей системы, синтезированной в виде фильтра с изменением структуры в случайные моменты времени, модели с частотно разделенными характеристиками должно существенно уменьшить величину ошибки.

Результаты моделирования следящей системы на основе двухмерных, трехмерных фильтров и системы, имеющей в своей основе, кроме уже упомянутых фильтров, еще и фильтр на основе модели (2) представлены на рис. 4.

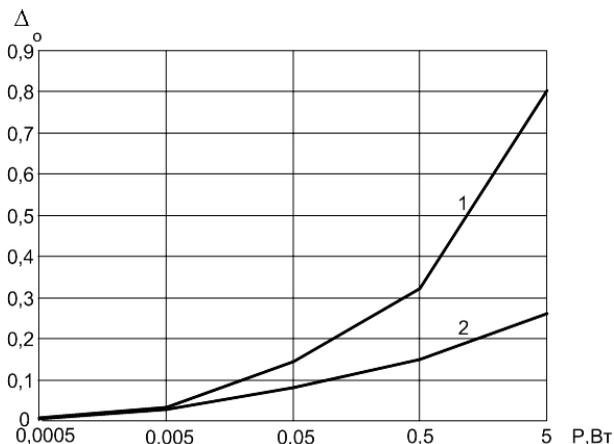


Рис. 4

На этом рисунке кривая 1 соответствует ошибке следящей системы, имеющей в своей основе двухмерный и трехмерный фильтры, а кривая 2 – следящей системы, имеющей в своей основе, кроме уже упомянутых фильтров, еще и фильтр на основе модели (2).

Из рисунков видно, что введение в состав следящей системы этого фильтра позволяет существенно уменьшить величину ошибки. Следует отметить, что применение в следящей системе только фильтра на основе модели (2), не обеспечивает преимуществ, так как в случае отсутствия маневра ошибка фильтра может быть велика по сравнению с ошибкой фильтра Калмана второго порядка.

Список литературы

1. Данилов, С. Н. Синтез угломера, функционирующего в переходном режиме на основе теории систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, Е. С. Данилов // Радиотехника. – 2005. – № 6.
2. Тихонов, В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. – М. : Радио и связь, 1991.
3. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
4. Фарина, А. Цифровая обработка информации. Сопровождение целей / А. Фарина, Ф. Студер. – М. : Радио и связь, 1993.
5. Бухалев, В. А. Основы автоматики и теории управления / В. А. Бухалев. – М. : ВВИА, 2006. – 406 с.

6. Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters Under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.

7. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.

Данилов С. Н., Амелина В. И., Худякова А. Д.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ АЛГОРИТМА ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА УПРАВЛЕНИЕ

Аннотация. Анализ систем управления транспортными средствами (ТС) выявил большое число проблем, обусловленных погрешностью оценки параметров движения. Для решения этой проблемы сформирован состав первичных измерителей информационно-измерительной системы оценки и предсказания этих параметров.

Ключевые слова: транспортное средство, модель движения, прогноз.

Статистические модели поведения динамических объектов создаются с целью понимания поведения объекта в свободных условиях и при воздействии на него, а также предсказания поведения. Модель движения предназначена для предупреждения столкновения как наземных, так и воздушных управляемых объектов. Прогноз поведения управляемых объектов представляет интерес с точки зрения экономии энергоресурсов и повышения безопасности.

В качестве примера будем рассматривать движение автомобилей. Обычно производители автомобилей анализировали проблему безопасности транспортных средств, защиты пассажиров и пешеходов с точки зрения уже случившегося столкновения. Это подтверждает конструкция большинства современных автомобилей, оснащенных различными системами по смягчению последствий аварий, что, несомненно, помогло сохранить колоссальное число жизней. Однако предупреждение возможных аварий на дороге – прорыв в области обеспечения безопасности водителей, пассажиров, пешеходов и других участников дорожного движения.

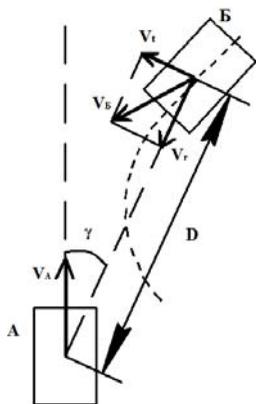


Рис. 1. Схема движения ТС

Для этого необходимо оценивать координаты и прогнозировать, как они будут меняться в дальнейшем и с какой ошибкой оцениваться.

Для анализа влияния моделей для фильтра и экстраполятора были исследованы: двухмерная модель равномерного движения (2P) и трехмерная модель равноускоренного движения (3P). Оценка точности экстраполяции производилась в одинаковых условиях.

Первичное измерение производилось на фоне одной и той же реализации шума. Точность прогноза для каждой модели: 2P, 3P, соответственно, в виде оценки максимального (M1, M2) и среднеквадратического (S1, S2) значения ошибки прогноза, показана в табл. 1, где N – количество шагов предсказания.

На основе этих данных было проведено исследование влияние наличия измерителя скорости относительного перемещения ТС на точность прогноза.

1. Точность прогноза

N	M1, м	S1, м	M2, м	S2, м
1	0,51	0,236	0,02	0,006
2	0,64	0,299	0,04	0,013
3	0,79	0,377	0,029	0,029
4	0,95	0,747	0,11	0,361

На рисунке 1 представлена ситуация движения, рассматриваемого ТС А и соучаствующего в движении ТС Б. ТС А движется со скоростью V_A , ТС Б – со скоростью V_B , между ними есть некоторое расстояние D . Задача состоит в том, чтобы предотвратить ситуацию столкновения ТС. Для правильной реакции на обстановку на дороге в первую очередь следует учитывать траекторию и прогноз движения автомобилей.

Для прогнозирования опасной ситуации на дороге необходимо создать предполагаемую модель относительного движения, на основе которой можно прогнозировать перемещение, как свое, так и соучаствующего ТС.

Результаты исследований позволяют сформировать состав первичных измерителей такой информационно-измерительной системы (табл. 2), где N – количество шагов предсказания.

2. Результаты анализа 2Р и 3Р

Количество шагов предсказания	Двухмерная модель движения		Трехмерная модель движения	
	Ошибка прогноза	Ошибка прогноза с учетом скорости	Ошибка прогноза	Ошибка прогноза с учетом скорости
1	0,239	0,111	0,098	$4,927 \cdot 10^{-3}$
2	0,302	0,118	0,101	0,014
3	0,379	0,139	0,109	0,027
4	0,749	0,455	0,128	0,048

На рисунке 2 приведены графики зависимости прогноза дальности до соседнего ТС от времени для моделей.

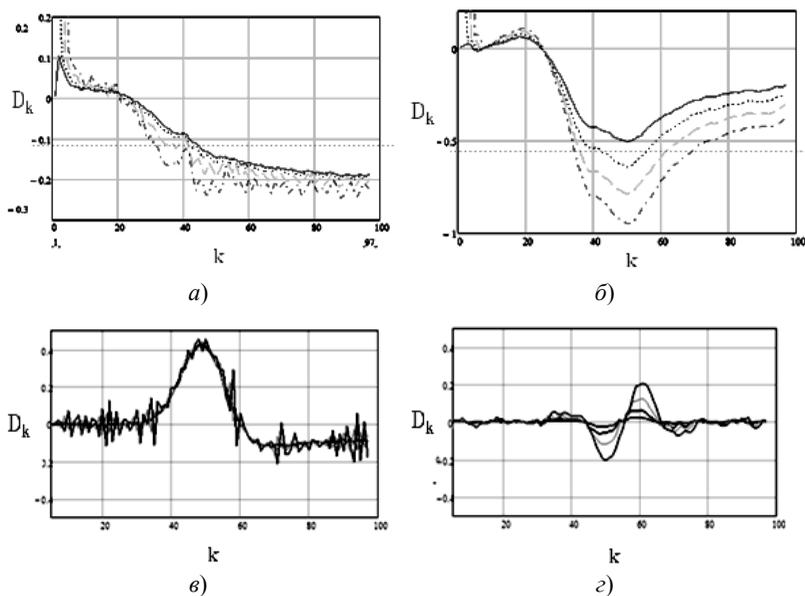


Рис. 2. Графики зависимости прогноза дальности от времени для 2Р (а) 2Р с учетом скорости (б) 3Р (в) 3Р с учетом скорости (з)

Таким образом, анализ моделей движения автомобилей выявил, что на точность прогноза влияет ошибка, которая увеличивается со временем, исходя из табл. 2. Двухмерная модель показала наихудшую точность, но она самая простая. Трехмерная модель точнее в 2–3 раза, но несколько сложнее, чем обычная двухмерная.

Список литературы

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированной на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – М. : Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.
3. Панасюк, Ю. Н. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник ТГТУ. – 2017. – № 4. С. 595–596.
4. Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters Under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.
5. Ефимов, А. Н. Предсказание случайных процессов : учебное пособие / А. Н. Ефимов. – М. : Знание, 1976. – 64 с.
6. Сысоева, С. А. Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности / С. А. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2007. – № 3. – С. 3 – 5.
7. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.

Демидов М. С., Глотов Н. А., Москвитин С. П.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОСИГНАЛА СТАНДАРТА ZigBee С QPSK МОДУЛЯЦИЕЙ

Аннотация. Приводятся аналитические методы расчета энергетических характеристик цифрового канала связи с QPSK модуляцией и расчет вероятности ошибки от отношения несущая/шум (C/N) или ее цифрового нормированного значения E_b/N_0 .

Ключевые слова: беспроводная передача данных, квадратурная модуляция, помехоустойчивость сигнала.

Открытый стандарт беспроводной передачи данных ZigBee позволяет создавать самовосстанавливающиеся и самоорганизующиеся беспроводные сенсорные сети с автоматической ретрансляцией сообщений. Zigbee имеет широкое распространение в системах, таких как: «Умный дом», безопасности, удаленного съема показаний и на производстве.

Диапазон частот для принятого стандарта ZigBee относится к глобальному ISM и составляет 2,4 ГГц при скорости передачи 250 кбит/с на 16 каналах с использованием четырехпозиционной фазовой модуляции.

Зачастую при испытании телекоммуникационного устройства или же линии передачи информации нужно получить не только лишь общий итог касательно его соответствия данным требованиям, но и найти причину несоответствия. Процесс поиска и идентификации недостатка будет возможно существенно упростить, применяя автоматизированную систему, которая позволит выдать сводку, содержащую подробную характеристику системы.

Рассмотрим оценку помехоустойчивости радиосигнала с фазовой манипуляцией QPSK, на который в тракте передачи воздействует аддитивный белый гауссовский шум. Соотношение цифрового нормированного значения $\frac{E_b}{N_0}$ является заданной величиной в системе моде-

лирования. Соответственно, дисперсия шума на выходе коррелятора с опорным сигналом в виде нормированной базисной функции будет иметь вид [1, 2]:

$$\sigma^2 = \frac{N_0}{2}, \quad (1)$$

где N_0 – уровень спектральной плотности мощности аддитивного белого гауссовского шума в канале.

Так как рассматривается радиосигнал с квадратурной фазовой манипуляцией QPSK, то энергия символа (E_s) будет эквивалентна энергии одного бита (E_b). Тогда для оценки помехоустойчивости необходимо установить взаимосвязь между дисперсией шума σ^2 и энергией канального символа. С учетом, что помехоустойчивое кодирование не применяется, можно получить коэффициент взаимосвязи между E_s и σ^2 , который определяется выражением [3]:

$$\sigma^2 = E_s \left[2R_m R_c \frac{E_b}{N_0} \right]^{-1}, \quad (2)$$

где R_c – скорость кода, для нашего случая $R_c = 1$; R_m – количество бит на символ.

Ошибка при принятии решения возникает, когда $[I, Q]$ координаты принятого символа S соответствуют другому символу. Рассмотрим комплексную огибающую квадратурного радиосигнала. Общий вид огибающей представлен выражением [3, 6]:

$$S = I(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - jQ(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (3)$$

где $I(t)$ и $Q(t)$ являются информационными параметрами, которые определяют положение канального символа в сигнальном созвездии и соответственно комбинацию бит, которую он несет.

В моделировании цифровых систем, в случаях с QPSK при демодуляции сигнала шум прибавляется независимо к каждой из квадратур, а вероятность появления символической ошибки описана выражением:

$$SER_{QPSK} = F\left(\frac{\sqrt{E_s}}{2}\right) \left[1 - F\left(-\frac{\sqrt{E_s}}{2}\right) \right]. \quad (4)$$

В данных выражениях функция $F(x)$ является функцией распределения нормального закона и определена с помощью функции ошибок Лапласа, при этом определяющее их выражение имеет вид:

$$F = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{I_s - \mu}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right], \quad \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt. \quad (5)$$

Так как нормальный закон распределения является симметричным, верным будет являться следующее тождество:

$$F(-\sqrt{E_s}) = 1 - F(\sqrt{E_s}), \quad (6)$$

следовательно вероятность двух типов ошибок одинакова.

Далее проанализируем помехоустойчивость отмеченных радиосигналов в случае искажения сигнального созвездия. Тут вероятны

два основных типа искажений созвездия, так как сведения уже представлены в виде суперпозиции двух квадратурных составляющих. На физическом уровне сведения об искажениях можно описать путем введения в систему разбаланса квадратур. На рисунках 1 и 2 показаны вероятные варианты искажения сигнального созвездия QPSK, а также представлены механизмы их описания: на рис. 1 – фазовый разбаланс, на рис. 2 – амплитудный разбаланс [4, 5].

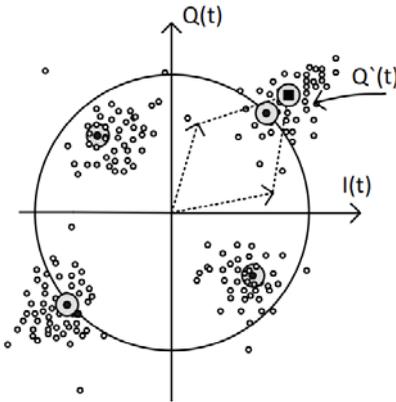


Рис. 1. Фазовый разбаланс QPSK

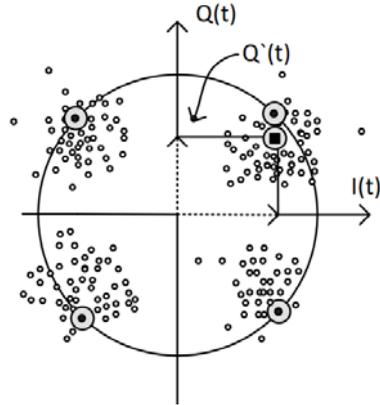


Рис. 2. Амплитудный разбаланс QPSK

Далее вычислим вероятность символьной ошибки для каждого из случаев. Для каждого вида разбаланса квадратур сигнальное созвездие будет искажено таким образом, что вероятность приема символов будет отличаться от сигнального созвездия в зависимости от степени уровня искажений на принимаемый в телекоммуникационной системе сигнал. Проявление данных характерных отличительных признаков будет отличаться.

Проанализируем наиболее детально фазовый разбаланс. Возможность правильного приема и символьной ошибки будет отлична для символов, передающих комбинации бит 00,11 и 10,01 (для случая кода Грея). Вероятность верного приема символа, передающего 00 [5]:

$$SER_{PHMB}(R00) = \frac{1}{4} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} (1 + \sin(\theta)) \right) \right]^2 ;$$

$$\forall \theta \neq \frac{\pi}{2} n, n = 2k + 1 \in Z, \quad (7)$$

где θ – угол разбаланса квадратур.

Полная вероятность символьной ошибки равна:

$$SER_{PHIMB}(ErrTotal) = 1 - SER_{PHIMB}(R00). \quad (8)$$

В случае искажения созвездия, описанного амплитудным разбалансом, возможность символьной ошибки будет одинакова для всех символов и описываться выражениями [6, 7]:

$$\begin{aligned} SER_{AIMB}(00, 01) &= \frac{1}{4} \left[\operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \right] \left[1 + \operatorname{erf} \left(k \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \right], \\ SER_{AIMB}(00, 10) &= \frac{1}{4} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \right] \left[\operatorname{erfc} \left(k \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \right], \\ SER_{AIMB}(00, 11) &= \frac{1}{4} \left[\operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \right] \left[\operatorname{erfc} \left(k \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \right], \\ SER_{AIMB}(R) &= \frac{1}{4} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \right] \left[1 + \operatorname{erf} \left(k \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \right], \end{aligned} \quad (9)$$

где k – коэффициент, определяющий степень амплитудного разбаланса квадратур.

В итоге четырехпозиционная фазовая модуляция (QPSK) дает возможность уменьшить глубину паразитной амплитудной модуляции и быстро находить символьную ошибку в радиосигнале с фазовой манипуляцией. QPSK реализуется за счет сдвига переключения квадратур на половину длительности передаваемого символа.

Список литературы

1. Голиков, А. М. Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах : учебное пособие / А. М. Голиков. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2016. – С. 373 – 385.
2. Аджемов, А. С. Общая теория связи / А. С. Аджемов, В. Г. Санников. – М. : Горячая линия – Телеком, 2018. – С. 624.
3. Дубов, М. А. Моделирование цифрового радиоприемного устройства МВ/ДМВ диапазона / М. А. Дубов // Цифровая обработка сигналов и ее применение (DSPA-2010) : докл. 12-й междунар. конф. Москва, ИПУ РАН, 2010. – С. 110 – 113.

4. Мартиросов, В. Е. Оптимальный прием дискретных сигналов ЦСПИ / В. Е. Мартиросов. – М. : Радиотехника, 2010. – С. 208.
5. Hanzo, L. Single and Multi-Carrier / L. Hanzo, W. Webb, T. Keller. – Wiley, 2000. – 792 p.
6. Holma, H. WCDMA HSPA evolution and LTE, John Wiley & Sons Ltd / H. Holma, A. Toskala. – Finland, 2010. – 628 p.
7. Mathuranathan V. Simulation of Digital Communication Systems Using MATLAB / V. Mathuranathan ; Second edition. – E-book, Mathuranathan V. at Smashwords, Published at 2013.

Емельянов А. Н., Кондусов В. А.

Воронежский государственный технический университет
(г. Воронеж, Россия)

КОНТРОЛЛЕР СОЛНЕЧНОГО ЗАРЯДА С ОТСЛЕЖИВАНИЕМ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. Разработан контроллер солнечного заряда аккумуляторных батарей с отслеживанием точки максимальной мощности по алгоритму МРРТ. Показана перспективность использования подобных устройств, в самых различных бытовых применениях.

Ключевые слова: контроллер заряда, алгоритм с функцией МРРТ.

Известно, что мировое потребление электроэнергии ежегодно увеличивается и эта тенденция в ближайшие десятилетия будет сохранена. Причины очевидны: увеличение численности населения, становление развивающихся стран, функционирование информационных и телекоммуникационных систем. Современные, большие центры обработки и передачи данных, например, относятся к крупнейшим потребителям электроэнергии. Увеличение спроса на электроэнергию приводит к быстрому истощению традиционных ископаемых видов топлива и обостряет проблему загрязнения окружающей среды. Поэтому существует необходимость в развитии альтернативных (возобновляемых) источников энергии.

Энергия солнца справедливо считается наиболее чистой, вечной, практически бесконечной, абсолютно бесплатной и экологически чистой. Поэтому развитие альтернативной энергетики в мире набирает широкие обороты. Электроника для солнечной энергетики на современном рынке представлена широко и поэтому сейчас не составит труда простому обывателю приобрести солнечные панели для личных

нужд. И если для больших солнечных электростанций есть множество корпоративных решений, то для микросистем с мощностью до 500 Вт не все так гладко: эта ниша альтернативной энергетики пока далека от заполнения.

Микросистемы генерации энергии от света солнца начинают получать распространение в качестве устройств для резервного и автономного освещения, например, на дорогах, подсвечивая опасные участки, или для резервного питания загородных домов. Обычно такие системы строятся из трех составляющих: солнечная панель – элемент генерации энергии, контроллер – устройство преобразования энергии, аккумулятор – устройство накопления энергии.

Создание панелей и аккумуляторов – это задача высокотехнологичных производств, которые и задают конечную стоимость. Однако контроллер оказался неоправданно дорогим устройством. При желании купить эффективный солнечный контроллер, именно для микросистем, мы не найдем достойных предложений на рынке. Это будут или очень мощные MPPT контроллеры с ценой свыше 5000 рублей [1], или дешевые подделки, которые продают под видом MPPT. В лучшем случае – это контроллеры PWM (ШИМ контроллеры), имеющие КПД меньше на 30% по сравнению с MPPT [2].

Следовательно, актуальной задачей стала разработка эффективного MPPT контроллера заряда солнечных батарей для микросистем генерации энергии, доступного для широкого круга потребителей со следующими техническими характеристиками: мощность – до 500 Вт; алгоритм заряда – MPPT; поддержка Li-Ion, Li-Fe, свинцово-кислотных аккумуляторов по циклу заряда CC/CV (постоянный ток/постоянное напряжение) [3]; стоимость: не более 1500 рублей.

MPPT (maximumpowerpointtracking) – это алгоритм поиска точки максимальной мощности. Заключается в сканировании вольтамперной характеристики (ВАХ) солнечной панели и установлении на ее выходе тока, обеспечивающего максимальную мощность. Стандартная ВАХ солнечной батареи (СБ) показана на рис. 1 [2].

Функциональная схема разработанного устройства, способного реализовать алгоритм MPPT, представлен на рис. 2.

Принцип работы схемы, изображенной на рис. 2: напряжение от СБ поступает на вход понижающего DC/DC преобразователя, выполненного по схеме полумоста [4]. Микроконтроллер сканирует ВАХ СБ и устанавливает точку максимальной мощности, одновременно реализуя алгоритм заряда CC/CV. Связь с пользователем осуществляется с помощью кнопок и LCD экрана. Внешний вид модуля контроллера представлен на рис. 3.

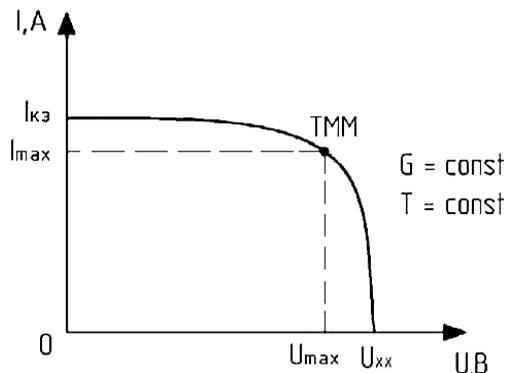


Рис. 1. Вольтамперная характеристика солнечной батареи

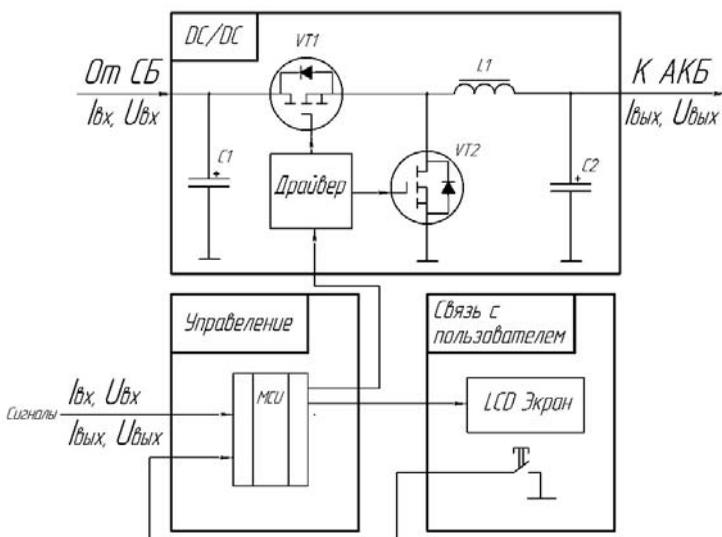


Рис. 2. Функциональная схема MPPT контроллера

Основные расчетные параметры: $P = 405$ Вт, $U_{\max} = 27$ В, $I_{\max} = 15$ А, КПД = 94%, время наработки на отказ – не менее 5 лет при полной нагрузке. Примерная себестоимость для даже малого производства 900 рублей. Ближайшие планы развития устройства: повы-

шение входного напряжения до 60 В, автоопределение аккумуляторов 12/24 В, технология «сброса снега» с СБ.

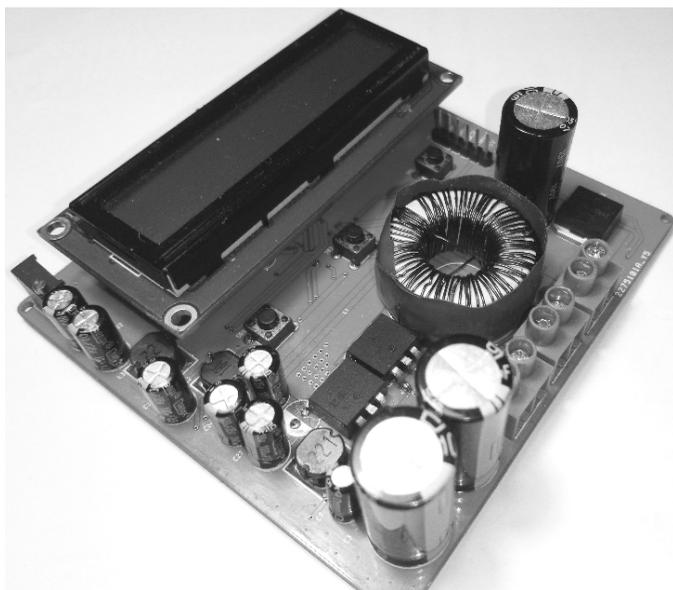


Рис. 3. Вид MPPT контроллера

Список литературы и источников

1. Прайс лист контроллеров заряда [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.solbat.su/catalog/kontroller/>
2. Казюков, Д. А. Контроллеры заряда-разряда аккумуляторных батарей / Д. А. Казюков // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2015. – № 8. – С. 41 – 44.
3. Мельничук, О. В. Особенности разряда и заряда литиевых аккумуляторных батарей / О. В. Мельничук // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – № 2. – С. 43–44.
4. Семенов, Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному / Б. Ю. Семенов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА

Аннотация. Рассматриваются вопросы построения систем нечеткого управления электромагнитными терапевтическими воздействиями. В качестве сигналов биотехнической обратной связи используются показатели микроциркуляций и температуры.

Ключевые слова: электромагнитная терапия, нечеткое управление, биотехническая обратная связь, датчик температуры, фотоплетизмосигнал.

Одной из актуальных задач цифровой медицины является разработка и внедрение эффективных систем поддержки принятия решений, которые, используя методы интеллектуального анализа данных, помогают врачам в задачах постановки диагнозов, оценки эффективности лечения и т.д. Особый интерес представляет мониторинг эффективности терапевтических электромагнитных воздействий внутренних органов человека при лечении инфекционных и онкологических заболеваний. При такой терапии часто используются хаотические электромагнитные колебания в звуковом частотном диапазоне, однако при этом возникает необходимость управления их частотой и амплитудой с целью оптимизации терапевтического эффекта [1, 2].

Для оптимизации терапевтического воздействия на внутренние органы предлагается использовать биотехническую обратную связь (БТОС) и модуль нечеткого управления (МНЧУ). Структурная схема биотехнической системы с включенными в ее состав модулями БТОС и МНЧУ представлена на рис. 1. Магнитотерапия, осуществляемая этой системой, включает курсовое воздействие электромагнитным излучением на предстательную железу после эндоректального ввода аппликатора. Внутри аппликатора находится катушка индуктивности, которая является источником терапевтического электромагнитного поля. С катушкой индуктивности соединен генератор звуковой частоты (ГЗЧ). Для снижения нелинейных искажений сигнал с ГЗЧ проходит через фильтр нижних частот. Интенсивностью электромагнитных колебаний управляют посредством аудиусилителя. Вектор состояния объекта управления формируем посредством датчиков фотоплетизмограммы и датчиков температуры, установленных на аппликаторе [1].

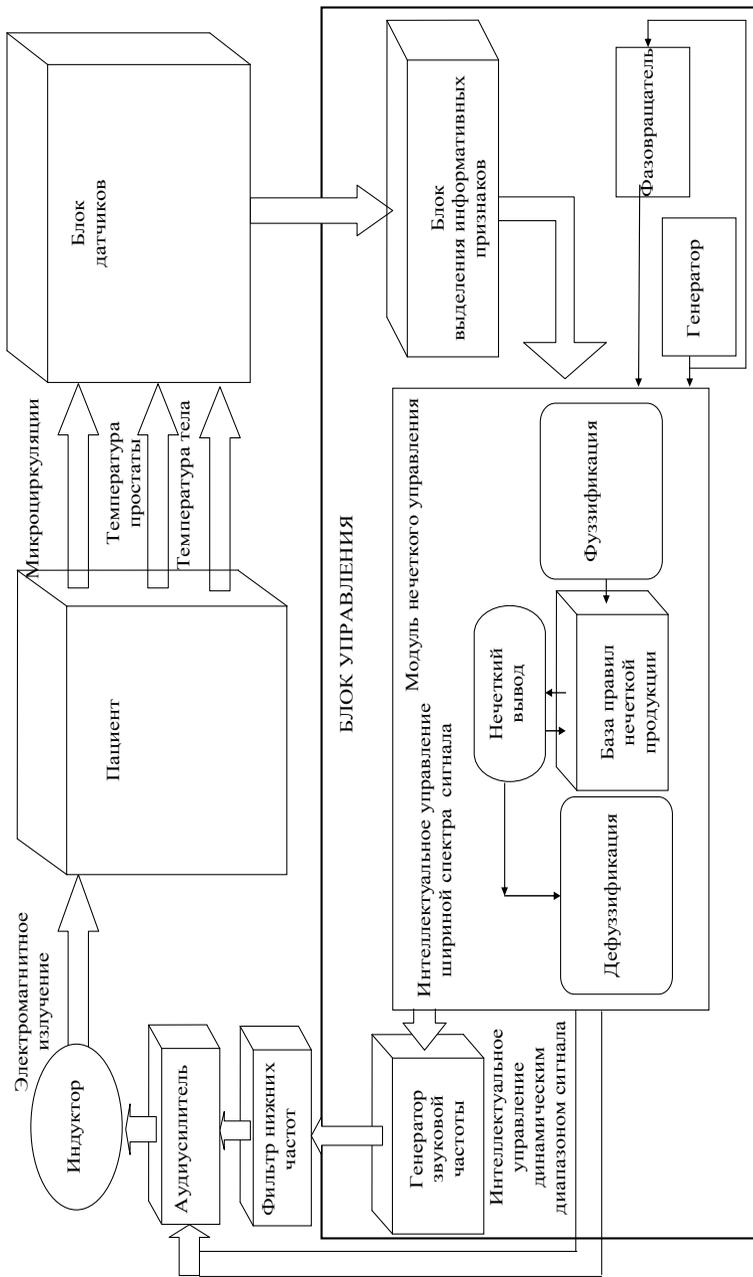


Рис. 1. Структурная схема биотехнической системы для интеллектуального управления магнитотерапией

Сущность управления состоит в следующем. Данные фотоплетизмосигнала и датчиков температуры оцифровываются в блоке датчиков и поступают в блок управления (рис. 1). Блок управления выполняет две функции: а) создает хаотическое электромагнитное поле; б) управляет частотным диапазоном и интенсивностью хаотического электромагнитного поля.

Для создания хаотического магнитного поля используется генератор и фазовращатель блока управления. Они формируют два синусоидальных сигнала, сдвинутые по фазе, которые предназначены для модуляции частоты ГЗЧ и коэффициента усиления аудиусилителя. Это позволяет в фиксированный дискрет времени получить два псевдослучайных числа, определяющих частоту и интенсивность электромагнитного поля. Для управления этими двумя числами посредством БТОС, модуль МНЧУ формирует свои два числа, которые модулируют две синусоиды, поступающие с генератора и фазовращателя. Таким образом, посредством МНЧУ устанавливается частотный диапазон и динамический диапазон аудиусилителя.

При магнитотерапии простатита использовался аппликатор аппарата УЛП-01-ЕЛАТ [3]. На аппликаторе имеется технологическое плато, которое было использовано для установки инфракрасного излучателя и приемника инфракрасного излучения. Датчик фотоплетизмосигнала размещен вдоль области аппликатора, указанной на рис. 2, приблизительно по центру технологического уклона у конца аппликатора, при этом не имеет значения последовательность «фототранзистор-светодиод» или «светодиод-фототранзистор» относительно концевой части аппликатора.

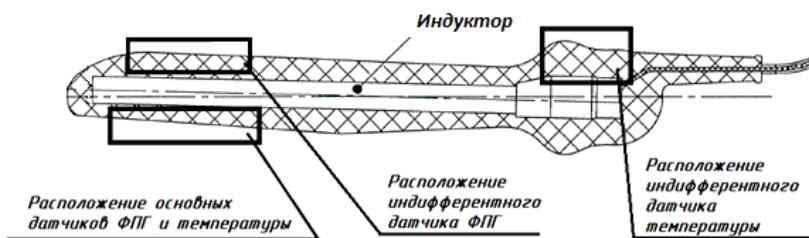


Рис. 2. Схема расположения датчиков регистрации ФПГ и температуры на аппликаторе

Аппликатор после ректального ввода устанавливается в окрестности предстательной железы, снимается фотоплетизмосигнал посредством пары светодиод-фотодиод, установленной на плато аппликатора

(рис. 2), определяются статистические параметры информативных признаков, и по их показателям МНЧУ корректируется терапевтическое магнитное поле.

Динамический диапазон ГЗЧ и аудиусилителя формируется МНЧУ на основе анализа датчиков БТОС. Предложены архитектурные решения МНЧУ, включая модели фуззификатора, блока нечеткого вывода и блока дефуззификации, а также комплект решающих правил, составляющих основу блока нечеткого вывода, имеющих иерархическую структуру, которая построена на основе чувствительности информативных признаков к электромагнитному воздействию.

Проведенные клинические испытания магнитотерапии совместно с противобактериальной терапией показали, что интеллектуальная магнитотерапия является эффективным средством в лечении острого и хронического воспаления предстательной железы. Она способствовала купированию воспалительного процесса в предстательной железе, уменьшению болевого синдрома в области мочевого пузыря и промежности. На фоне применения интеллектуальной магнитотерапии регулируется частота мочеиспускания, уменьшается количество патологических примесей в моче и секрете простаты, исчезают болезненные ощущения в уретре.

Список литературы

1. Филист, С. А. Магнитотерапия простатита с биологической обратной связью по оптическому каналу связи / С. А. Филист, Д. С. Забанов, А. А. Трифонов // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии : докл. XIII-й междунар. науч. конф. Кн. 1. – Владимир, 2018. – С. 147 – 153.
2. Филист, С. А. Магнитотерапевтический аппарат с адаптируемым спектром электромагнитного излучения для лечения простатита и гинекологических заболеваний / С. А. Филист, А. А. Кузьмин, Д. В. Мешковский // Медицинская техника. – 2008. – № 4. – С. 20 – 24.
3. Подмастерьев, К. В. Система коррекции функционального состояния организма человека на основе медицинского мониторинга параметров внутренних органов / К. В. Подмастерьев, Д. С. Забанов и др. // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века : сб. ст. по материалам Четвертой всерос. науч.-практ. конф. ; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Ч. 1. – Пермь, 2019. – С. 186 – 191.

Зауголков И. А.¹, Колобков А. Ю.¹, Исаева О. В.²

¹Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина,

²Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ НА КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТАХ

Аннотация. Рассматривается обеспечение безопасности обрабатываемой информации на критически важных объектах, поскольку нарушение работы таких объектов способно привести к значительным негативным последствиям. Работа посвящена созданию базы данных мер защиты информации для АСУ на основании приказа ФСТЭК России от 14 марта 2014 г. № 31.

Ключевые слова: АСУ ТП, защита информации, информационная безопасность.

В современном мире трудно представить себе организацию работы человека и предприятия без внедрения автоматизированных систем и процессов. Наравне с развитием средств автоматизации появляется все больше новых способов нарушения информационной безопасности.

Основной целью работы является создание базы данных мер защиты информации для АСУ на основании приказа ФСТЭК России от 14 марта 2014 г. № 31 «Об утверждении требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды» [1].

При выполнении этапа формирования требований обращается внимание на классификацию АСУ ТП и установку класса защищенности: К1 (наиболее высокий), К2 или К3.

Приказ определяет комплекс мер по защите информации, а также порядок их выбора.

Разработанная база данных позволяет просматривать перечень мер защиты информации для соответствующего класса защищенности АСУ ТП. При попытке доступа к базе, пользователь увидит форму аутентификации, изображенную на рис. 1.

Имя пользователя	Пароль
Выберите файл	Файл не выбран
<input checked="" type="checkbox"/> Использовать HTTPS	
Войти	

**Рис. 1. Форма аутентификации
базы данных**

Вводятся аутентификационные данные и загружается текстовый файл, который является дополнительным аутентификатором, что обеспечивает двухфакторную защиту информационной системы.

Интерфейс пользователя представляет собой вывод информации из базы данных в виде таблицы. На данном этапе работы пользователь может ознакомиться с мерами по защите информации в АСУ ТП для каждого класса защищенности. Интерфейс пользователя изображен на рис. 2.

Условное обозначение и номер меры	Меры защиты информации в автоматизированных системах управления	Классы защищенности автоматизированной системы управления		
		3	2	1
I. Идентификация и аутентификация (ИАФ)				
ПАФ.0	Разработка политики идентификации и аутентификации	+	+	+
ПАФ.1	Идентификация и аутентификация пользователей и инициируемых ими процессов	+	+	+
ПАФ.2	Идентификация и аутентификация устройств	+	+	+
ПАФ.3	Управление идентификаторами	+	+	+
ПАФ.4	Управление средствами аутентификации	+	+	+
ПАФ.5	Идентификация и аутентификация внешних пользователей	+	+	+
ПАФ.6	Двусторонняя аутентификация			
ПАФ.7	Защита аутентификационной информации при передаче	+	+	+
II. Управление доступом (УПД)				
УПД.0	Разработка политики управления доступом	+	+	+

**Рис. 2. Представление базы данных
в интерфейсе пользователя**

Используя панель операций с базой данных, можно просмотреть только те записи базы данных, которые соответствуют определенному классу защищенности (рис. 3).

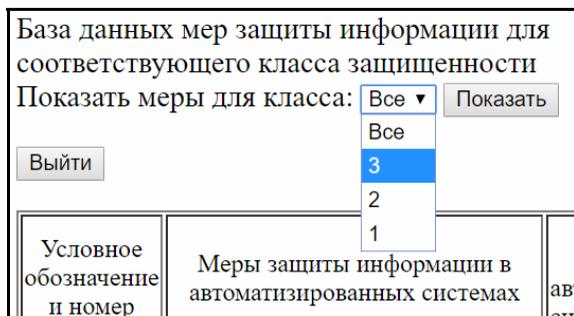


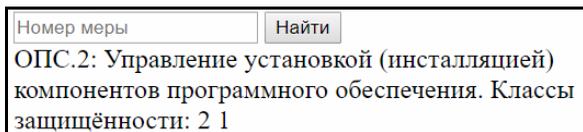
Рис. 3. Выбор данных для сортировки записей

После выбора соответствующего значения и нажатия кнопки «Показать» пользователь сможет увидеть необходимые ему записи (рис. 4).

I. Идентификация и аутентификация (ИАФ)	
II. Управление доступом (УПД)	
IV. Защита машинных носителей информации (ЗНИ)	
V. Аудит безопасности (АУД)	
VI. Антивирусная защита (АВЗ)	
<i>Антивирусная защита информационной системы, включающая обнаружение компьютерных программ либо иной компьютерной информации, предназначенных для несанкционированного уничтожения, блокирования, модификации, копирования персональных данных (компьютерной информации) или нейтрализации средств защиты информации, а также реагирование на обнаружение этих программ и информации.</i>	
Условное обозначение и номер меры	Меры защиты информации в автоматизированных системах управления
АВЗ.0	Разработка политики антивирусной защиты
АВЗ.1	Реализация антивирусной защиты
АВЗ.2	Антивирусная защита электронной почты и иных сервисов
АВЗ.4	Обновление базы данных признаков вредоносных компьютерных программ (вирусов)
VIII. Обеспечение целостности (ОЦЛ)	
IX. Обеспечение доступности (ОДТ)	
X. Защита технических средств и систем (ЗТС)	
XI. Защита информационной (автоматизированной) системы и ее компонентов (ЗИС)	

Рис. 4. Просмотр шестой группы мер защиты информации для третьего класса защищенности

У пользователя есть возможность поиска меры защиты в АСУ по ее условному обозначению и номеру. Например, введя номер меры «ОПС.2», можно получить результат, изображенный на рис. 5.

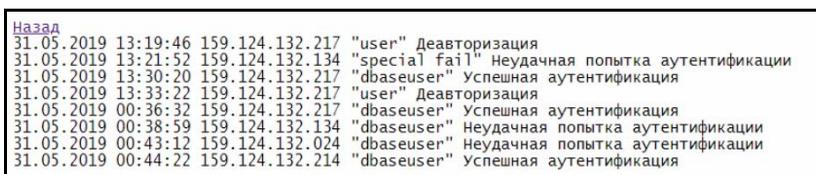


Номер меры Найти

ОПС.2: Управление установкой (инсталляцией) компонентов программного обеспечения. Классы защищённости: 2 1

Рис. 5. Результаты поиска по запросу «ОПС.2»

У пользователей системы, обладающих высоким уровнем привилегий, имеется доступ к журналу об операциях пользователей. Перейти к нему можно, нажав кнопку «Журнал», на панели операций. Журнал об операциях пользователей изображен на рис. 6.



Назад					
31.05.2019	13:19:46	159.124.132.217	"user"	деавторизация	
31.05.2019	13:21:52	159.124.132.134	"special fail"	Неудачная попытка аутентификации	
31.05.2019	13:30:20	159.124.132.217	"dbaseuser"	Успешная аутентификация	
31.05.2019	13:33:22	159.124.132.217	"user"	деавторизация	
31.05.2019	00:36:32	159.124.132.217	"dbaseuser"	Успешная аутентификация	
31.05.2019	00:38:59	159.124.132.134	"dbaseuser"	Неудачная попытка аутентификации	
31.05.2019	00:43:12	159.124.132.024	"dbaseuser"	Неудачная попытка аутентификации	
31.05.2019	00:44:22	159.124.132.214	"dbaseuser"	Успешная аутентификация	

Рис. 6. Журнал об операциях пользователей

По завершении работы с информационной системой, пользователю необходимо провести деавторизацию. Данная операция выполняется по нажатию кнопки «Выйти» на панели операций, изображенной на рис. 7.



Показать меры для класса: Все ▾ Показать | Журнал | Выйти

Номер меры Найти

Рис. 7. Панель операций

Пользователи данного продукта могут своевременно и удобно получать доступ к необходимой для них информации, которая необходима для разработки системы защиты информации для АСУ ТП в соответствии приказом ФСТЭК № 31. Разработанная база данных в свою очередь защищена от изменения, удаления и несанкционированного доступа. База данных может быть использована для подготовки специалистов в области защиты информации [2].

Список литературы и источников

1. Официальный сайт ФСТЭК России [Электронный ресурс]: Электрон. дан. (1 файл). – URL : <http://fstec.ru/normotvorcheskaya/poisk-ro-dokumentam>.

2. Зауголков, И. А. Информационно-методическое обеспечение подготовки бакалавров в области комплексной системы защиты информации / И. А. Зауголков, Д. И. Коротыч, О. В. Исаева // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов. – 2016. – С. 268 – 272.

Казаков Д. Ф., Ковшов Е. Е., Кувшинников В. С.
АО «НИКИМТ-Атомстрой»
(г. Москва, Россия)

СИСТЕМЫ «МАЛОЙ» АВТОМАТИЗАЦИИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. Рассматриваются современные средства автоматизации в контексте повышения энергоэффективности производства. Проводится сравнительный анализ возможностей средств промышленной автоматизации и «малой» автоматизации на основе одноплатных микроконтроллерных платформ.

Ключевые слова: цифровизация, программно-аппаратные решения, бережливое производство, промышленная автоматизация, энергоэффективное промышленное производство.

Сегодня, в эпоху 4-й индустриальной революции, вопрос энергосбережения стоит весьма остро. Каждая компания, стремящаяся к улучшению технико-экономических показателей, обязана задумываться о рационализации технологических процессов и минимизации потребления электроэнергии без вреда непосредственному производству.

«Энергосбережение на производственных предприятиях – это комплекс мероприятий и процедур, направленных на увеличение объема вырабатываемой продукции при постоянном расходе топлива и сырья или снижение энергопотребления при постоянной мощности производства» [1]. Из всего комплекса следует отметить следующие

мероприятия: строительство и проектирование энергоэффективных зданий; экономия электроэнергии; повышение продуктивности и качества работы персонала энергетической системы за счет создания комфортных условий труда. Переход к бережливому производству невозможен без понимания источников потерь. «Потери – любое действие на всех уровнях организации, при осуществлении которого потребляются ресурсы, но не создаются ценности...» [2]. Внедрение автоматизированных систем (АС) для мониторинга ресурсных потоков, анализа обобщенных данных, выявления и минимизации потерь – один из путей перехода к бережливому производству.

Основным фактором сдерживания перехода является сложность внедрения и эксплуатации АС. «С одной стороны, автоматизация и цифровизация приведут к повышению эффективности производства и конкурентоспособности продукции, а с другой – потребуют больших материальных вложений и сложных технических преобразований с длительным сроком возврата инвестиций...» [3]. Внедрение готовых решений, помимо приобретения самого технологического оборудования, потребует значительных инвестиций в обучение высококвалифицированного персонала. Одним из вариантов решения обозначенной дилеммы является внедрение систем «малой» автоматизации (СМА), основанных на применении программируемых микроконтроллеров (ПМК) [3, 4]. Несмотря на то, что некоторые ПМК уже сертифицированы по международным стандартам, большинство пригодно лишь для «внутренних» систем предприятия, не требующих сертификации таких, например, как: мониторинг энергопотребления, состояние рабочей среды, соблюдение режима труда сотрудников и др., полноформатная автоматизация которых с применением программируемого логического контроллера (ПЛК) является нерентабельной. СМА могут быть использованы, например, для автоматизированного поддержания комфортных микроклиматических условий, сбора статистических данных и создания узкоспециализированных систем их передачи. Такие системы обладают рядом как недостатков, так и преимуществ в сравнении с программируемыми реле (ПР) или полноценными АС на ПЛК.

В качестве недостатков СМА можно выделить следующие: специфические риски [5], лежащие на конечном потребителе в связи с разработкой прикладного программного обеспечения, монтажными работами, отладкой, подбором обслуживающего персонала; полное или частичное отсутствие сертификации в области ЭМС по ГОСТ, ISO или ТР/ТС (так, например, отдельные ПМК сертифицированы, напри-

мер, Raspberry 3 В+ (сертификат ТР/ТС 20/2011)); ограниченный выбор ПМК с предустановленными промышленными интерфейсами (Modbus, CANopen, Profibus и т.д.); необходимость приобретения платрасширений для полноценного промышленного применения. Положительными свойствами СМА являются следующие: невысокая стоимость по сравнению с ПЛК; простота внедрения, монтажа и масштабирования; низкий входной порог технической подготовки обслуживающего персонала; широкий выбор совместимых компонентов и периферийных устройств; компактность, простота создания автономных модулей и подсистем; открытость аппаратной платформы и программного обеспечения.

Для вычислительных экспериментов были использованы устройства и совместимые компоненты, имеющие наибольшее распространение в промышленной автоматизации и разработке макетов АС, следующих брендов: Arduino [6], ОВЕН [7]. К выбору основного компонента-контроллера стоит подходить с учетом количества и качества возможностей, требуемых для реализации поставленных задач. Хотя цифровыми входами оснащены все рассматриваемые устройства, аналоговыми же входами обладает не каждый ПЛК. Отсутствие или нехватку входов на ПЛК можно компенсировать дополнительными модулями расширения, приобретаемыми и устанавливаемыми отдельно. Количество таких входов напрямую зависит от объема собираемых для управления и дальнейшего анализа данных и количества оборудуемых системой участков. Управление параметрами в подобных системах реализуется при помощи различных, легко встраиваемых в сеть, внешних устройств, управляемых напрямую или через ПР. В некоторых ПЛК такие реле уже предусмотрены, но в отличие от ПР, их количество и мощность сильнее ограничены, что препятствует работе с параметрами крупных помещений и требует затрат на подключение внешних реле. В ПМК же вообще отсутствуют реле, и их необходимо приобретать отдельно, но в силу широкого выбора, низкой стоимости и простоты подключения, подбор таких компонентов не составит особого труда. Ключевыми параметрами при выборе аппаратного решения системы управления являются число объектов управления и суммарная мощность потребителей электроэнергии. Потенциал СМА кроется в сборе данных для многокритериального анализа в целях ликвидации узких мест энергоэффективности предприятия в целом или его отдельных частей, а также для прогнозирования отказов некоторого оборудования. Данные с ПМК накаплива-

ются и анализируются посредством ЛВС предприятия. Для этого повсеместно, наряду с сетью Ethernet, используются промышленные интерфейсы и протоколы, например, такие, как RS-232, RS-485 или TCP/IP.

Таким образом, простота программирования, монтажа, а также гибкая компоновка систем «малой» автоматизации на базе ПМК, позволяют при своей реализации повысить энергоэффективность не только основных, но и вспомогательных отделов и участков промышленного производства, сокращая при этом, общий показатель энергетических потерь предприятия в целом.

Список литературы и источников

1. Игнатъев, В. Н. Советы по энергосбережению на промышленных предприятиях [Электронный ресурс] / В. Н. Игнатъев // Энергосовет, 2016. – № 2(44). – С. 31 – 35. – URL : http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?idd=595

2. ГОСТ Р 56020–2014. Бережливое производство. Основные положения и словарь.

3. Казаков, Д. Ф. Применение Smart-технологий и систем «малой» автоматизации в цифровом производстве [Электронный ресурс] / Д. Ф. Казаков, Е. Е. Ковшов, В. С. Кувшинников // Повышение доли на международных рынках в условиях цифровой трансформации отрасли : сб. тезисов по материалам VIII науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов атомной отрасли. – С.-Петербург, 2019. – URL : http://team-conference.ru/files/theses/00_theses_komanda_2019.pdf

4. Казаков, Д. Ф. Формирование киберфизического пространства цифрового производства с применением smart-технологий [Электронный ресурс] / Д. Ф. Казаков, Е. Е. Ковшов, В. С. Кувшинников // Инновации в атомной энергетике: сборник докладов конференции молодых специалистов – М., 2019. – URL : http://ystc-2019.nikiet.ru/pls/apex/www_flow_file_mgr.get_file?p_security_group_id=2087214192187084&p_flow_id=401&p_fname=Paper.pdf

5. Карпенко, М. С. Учет факторов риска и неопределенности при реализации энергосберегающих проектов / М. С. Карпенко // Энергобезопасность и энергосбережение, 2014. – № 6. – С. 13 – 16.

6. Компания Arduino : [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.arduino.cc/>

7. Компания OWEN : [Электронный ресурс]. – URL : <http://owen.ru/>

Казьмин А. И., Федюнин П. А., Рябов Д. А.
ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»
(г. Воронеж, Россия)

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Представлен новый подход к оценке эффективных диэлектрической и магнитной проницаемостей метаматериалов. Подход базируется на эффекте распространения поверхностных медленных электромагнитных волн в DNG-метаматериале на металлическом основании. Предложенный подход может служить основой радиоволновых способов оценки электрофизических параметров метаматериалов.

Ключевые слова: метаматериал, коэффициент ослабления поля поверхностной электромагнитной волны, эффективная диэлектрическая и магнитная проницаемость.

Метаматериалы – это композитные материалы, обладающие уникальными электрофизическими, радиофизическими и оптическими свойствами, отсутствующими в природных материалах [1]. Уникальные свойства метаматериалов обусловлены в частности тем, что метаматериалы могут обладать одновременно отрицательными значениями эффективных диэлектрической $\epsilon_{\text{эф}}$ и магнитной проницаемостей $\mu_{\text{эф}}$ [1 – 3].

Цель работы – разработка нового метода диагностики метаматериалов, базирующегося на эффекте распространения поверхностных медленных электромагнитных волн в DNG-метаматериале на металлическом основании.

Суть разработанного метода заключается в следующем.

1. В исследуемом метаматериале возбуждают электромагнитную волну с вертикальной поляризацией, падающей на пластинку исследуемого материала под углом к нормали, проведенной вдоль металлической подложки к границе раздела «исследуемый материал–металлическая подложка», последовательно на частотах возрастающих от f_i до f_N с дискретным шагом по частоте Δf .

2. Измеряют коэффициент затухания $\alpha(f_i), \alpha(f_{i+1}) \dots \alpha(f_N)$ каждой электромагнитной волны над поверхностью исследуемого материала по линии, перпендикулярной к его поверхности по ту же сторону нормали к границе раздела «исследуемый материал–металлическая подложка», где находится и падающая электромагнитная волна.

3. Сравнивают коэффициенты затухания с нулевым значением. Если $\alpha(f_i) > 0$, то принимают решение о том, что пластинка на частоте f_i является метаматериалом.

4. Используя два значения коэффициентов затухания на двух рядом расположенных частотах $\alpha(f_i)$ и $\alpha(f_{i+1})$, на которых пластинка является метаматериалом, при условии, что $(f_{i+1} - f_i)/f_i \ll 1$, определяют ее значения эффективных диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{\text{эф}}$ и магнитной проницаемости $\mu_{\text{эф}}$, решая систему из двух дисперсионных уравнений [2]:

$$\begin{cases} q_i \tan(q_i b) - |\varepsilon_{\text{эф}}| \alpha(f_i) = 0; \\ q_{i+1} \tan(q_{i+1} b) - |\varepsilon_{\text{эф}}| \alpha(f_{i+1}) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где q_i – поперечное волновое число в слое метаматериала на частоте f_i ,

$q_i = \sqrt{\left(\frac{2\pi f_i}{c} \sqrt{\varepsilon_{\text{эф}} \mu_{\text{эф}}}\right)^2 - \left(\frac{2\pi f_i}{c}\right)^2 - \alpha^2(f_i)}$; q_{i+1} – поперечное

волновое число в слое метаматериала на частоте f_{i+1} ,

$q_{i+1} = \sqrt{\left(\frac{2\pi f_{i+1}}{c} \sqrt{\varepsilon_{\text{эф}} \mu_{\text{эф}}}\right)^2 - \left(\frac{2\pi f_{i+1}}{c}\right)^2 - \alpha^2(f_{i+1})}$; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – величина

скорости электромагнитных волн в вакууме; b – толщина метаматериала, $\varepsilon_{\text{эф}}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость, $\mu_{\text{эф}}$ – эффективная магнитная проницаемость.

На рисунке 1 представлен один из возможных вариантов реализации предлагаемого подхода к определению ЭП метаматериалов, где цифрами обозначено: 1 – исследуемый материал [3]; 2 – радиопоглощающее покрытие; 3 – металлическая поверхность; 4 – нормаль к границе раздела «металлическая поверхность–исследуемый материал»; 5 – падающая электромагнитная волна с вертикальной поляризацией; 6 – преломленная электромагнитная волна; 7 – область над исследуемым материалом для измерения коэффициента затухания поверхностной волны; 8 – блок измерения коэффициентов затухания поля поверхностной электромагнитной волны; 9 – блок пороговой обработки и определения значений эффективных диэлектрической и магнитной проницаемостей метаматериала; 10 – приемная антенна; 11 – антенна возбуждения электромагнитной волны с вертикальной поляризацией; 12 – генератор СВЧ.

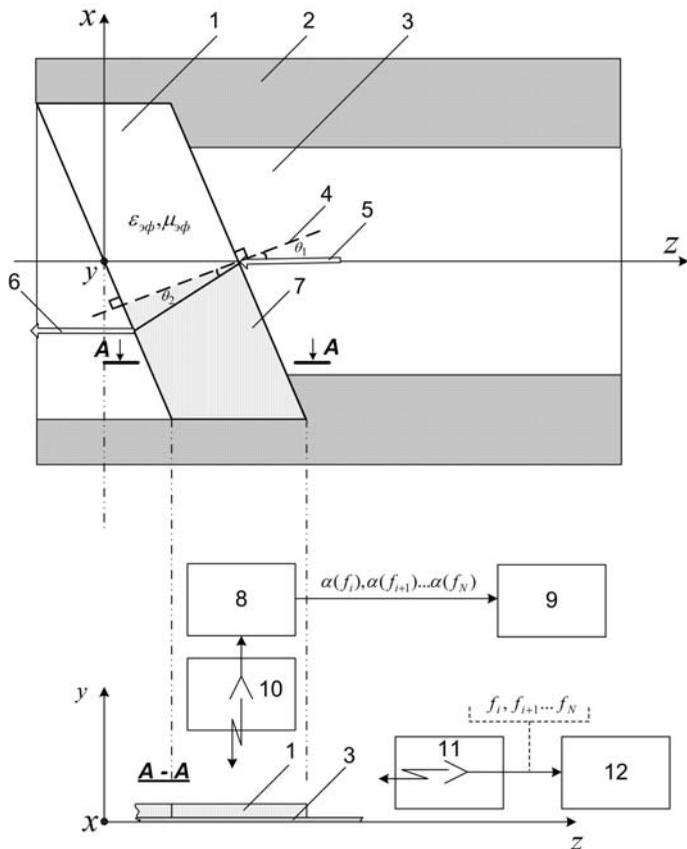


Рис. 1. Реализации предлагаемого метода определения ЭФП метаматериалов

Устройство работает следующим образом: перед началом проведения измерений в блок пороговой обработки и определения значений эффективных диэлектрической и магнитной проницаемостей метаматериала 9 вводят толщину исследуемого материала b .

С помощью генератора СВЧ 12 и антенны возбуждения электромагнитной волны с вертикальной поляризацией 11 вдоль металлической поверхности 3 возбуждают электромагнитную волну с вертикальной поляризацией, последовательно, на частотах, возрастающих от f_i до f_N , с дискретным шагом по частоте Δf . За счет того, что исследуемый материал изготовлен в виде параллелограмма, элек-

тромагнитная волна, дойдя до исследуемого материала, падает под углом θ_1 к нормали 4 границы раздела «металлическая подложка–исследуемый материал».

С помощью приемной антенны 10 и блока измерения коэффициентов затухания 8 для каждой частоты проводят измерение значений коэффициентов затухания $\alpha(f_i), \alpha(f_{i+1}) \dots \alpha(f_N)$ в области 7 над исследуемым покрытием, т.е. со стороны нормали 4, где расположена и падающая электромагнитная волна с вертикальной поляризацией 5.

Измеренные коэффициенты затухания $\alpha(f_i), \alpha(f_{i+1}) \dots \alpha(f_N)$ поступают в блок пороговой обработки и определения значений эффективных диэлектрической и магнитной проницаемостей метаматериала 9. В блоке 9 сравнивают коэффициенты затухания с нулевым значением, и если $\alpha(f_i) > 0$, то принимают решение о том, что пластинка на частоте f_i является метаматериалом.

Используя два значения коэффициентов затухания на двух рядом расположенных частотах $\alpha(f_i)$ и $\alpha(f_{i+1})$, на которых пластинка является метаматериалом, при условии, что $(f_{i+1} - f_i)/f_i \ll 1$, определяют ее значения эффективных диэлектрической проницаемости $\epsilon_{эф}$ и магнитной проницаемости $\mu_{эф}$, решая систему из двух дисперсионных уравнений (1).

Список литературы и источников

1. Гуляев, Ю. В. Метаматериалы: фундаментальные исследования и перспективы применения / Ю. В. Гуляев, А. Н. Лагарьков, С. А. Никитов // Вестник Российской академии наук. – 2008. – Т. 78, № 5. – С. 438 – 457.

2. Fundamental modal properties of surface waves on metamaterial grounded slabs / P. Baccarelli, P. Burghignoli, F. Frezza et al. // IEEE Transactions on microwave theory and techniques. – 2005. – V. 53, № 4. – P. 1431–1442, DOI: 10.1109/TMTT.2005.847880.

3. A study of using metamaterials as antenna substrate to enhance gain, Progress In Electromagnetics Research / B.-I. Wu, W. Wang, J. Pacheco, X. Chen, T. Grzegorzczuk and J. A. Kong. – 2005. – V. 51. – P. 295 – 328.

Ковергин Р. Е.¹, Шамкин В. Н.²

¹ПАО «Газпром-нефть» (г. Санкт-Петербург, Россия),

²Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК ВЕРТИКАЛЬНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ НЕФТЯНЫХ КОМПАНИЙ

Аннотация. Рассмотрены предпосылки и цели трансформации вертикально-интегрированных нефтяных компаний. Раскрыты сферы реализации трансформаций и сущность каждой из них. Отражены аспекты цифровой трансформации в управлении цепями поставок.

Ключевые слова: интегрированное планирование, работа с отклонениями, управление цепями поставок, цифровая трансформация.

Для нефтяной отрасли России и мира наиболее вероятным сценарием развития эксперты считают постепенно замедляющийся рост потребления углеводородов на фоне высокой волатильности рынков и быстрой смены экономической конъюнктуры. Оптимальный алгоритм действий в таких условиях – обеспечение скорости и гибкости реакции бизнеса компаний ТЭК на риски и изменения, а также максимально эффективное использование своих ресурсов и возможностей, предоставляемых рынком. При реализации неблагоприятного сценария, в котором жесткая конкуренция может привести к затяжному падению цен на нефть, максимальную значимость для вертикально-интегрированных нефтяных компаний (ВИНК) приобретает высокий уровень операционной эффективности и низкой себестоимости производства и распределения продукции [1].

Для того чтобы подготовиться к любому развитию событий, становится очевидной необходимость проведения масштабной и комплексной трансформации бизнеса ВИНК, в рамках которой определяют четыре основных направления: операционное, организационное, культурное и цифровое [1]. Они тесно взаимосвязаны между собой и дополняют друг друга.

Главной задачей операционной трансформации является обеспечение непрерывного повышения операционной эффективности компании и снижение до минимума рисков производственных инцидентов. Это предполагает интеграцию разрозненных управленческих элементов, процессов, стандартов в четко структурированный набор взаимозависимых практик, обязательных для применения на любом из звеньев цепочки добавленной стоимости: производственной установке, отгрузочном комплексе, нефтебазе или на автозаправочной станции.

Организационная трансформация направлена на повышение гибкости и скорости реакции ВИНК на внешние изменения. Это становится возможным благодаря смещению логики управления предприятием и изменению роли руководителей – происходит переход от иерархической системы управления к вовлекающему лидерству, где руководитель становится координатором и организатором коммуникаций. Кроме того, данный подход предполагает формирование автономных кросс-функциональных команд экспертов, способных самостоятельно решать поставленные задачи благодаря горизонтальному взаимодействию и координации с другими экспертными группами. Предполагается, что после выполнения задач группы распадаются и формируются заново для решения последующих задач.

В рамках трансформации корпоративной культуры происходит сдвиг от культуры результата к культуре сотрудничества и творчества, которая представляет собой общую систему ценностей, взглядов, целей, а также принципов совместной работы и разрешения споров. Так, корпоративная культура и ее элементы будут давать единое понимание задач и методов их решения, а также станут связующим звеном для всех сотрудников компании.

Цифровая трансформация должна дать ВИНК инструменты, необходимые для работы в новых экономических и технологических условиях. Цифровизация является одним из элементов цифровой трансформации и подразумевает внедрение конкретных технологий четвертой промышленной революции, которые совместно с изменениями культуры и организационной модели станут провайдерами изменений предприятия [2]. Внедрение технологий в совокупности с остальными элементами трансформации позволят осуществить переход на качественно новый уровень взаимодействия как внутри компании, так и за ее пределами, а также максимально полно реализовать оптимизационный потенциал управления цепочкой создания стоимости как единым активом – от добычи и поставок нефти, переработки и распределения до транспортировки нефтепродуктов на нефтебазы и конечным потребителям. Повышение гибкости и скорости реакции на отклонения в работе цепочек поставок ВИНК вместе с управлением всей цепочкой создания стоимости, а не отдельными ее элементами станут факторами, которые позволят существенно повысить эффективность компании, а значит, ее конкурентоспособность в долгосрочной перспективе.

С развитием технологий Индустрии 4.0 открываются новые возможности для анализа и использования большого объема данных, возникающих при управлении сложными объектами в среде с высокой степенью неопределенности и необходимостью быстрой реакции на отклонения в его работе [2]. Особенностью нефтяной отрасли в силу ее

масштаба и протяженности цепочек создания стоимости является тот факт, что она производит огромное количество разнородных данных в области управления цепями поставок от добычи нефти, производства, транспортировки и до сбыта нефти и нефтепродуктов. Для сбора и обработки данных используются распределенные базы данных, в которые собираются информационные потоки из всех сегментов логистики, переработки и сбыта. Такое хранилище позволяет организовать постоянный оперативный доступ, структурированное хранение и эффективную обработку больших массивов данных с помощью методов продвинутой аналитики, таких как нейронные сети или машинное обучение. Использование продвинутых инструментов анализа дает возможность проводить глубокий анализ причин отклонений интегрированных планов и в целом повышать стабильность функционирования цепочки добавленной стоимости [3]. На основе таких инструментов анализа представляется целесообразным создание алгоритмов, моделей и систем поддержки принятия решений, которые будут прогнозировать вероятные отклонения в работе цепей поставок гораздо раньше, чем это способен сделать человек. Система поддержки принятия решений сможет идентифицировать события, их вероятности и предложит эксперту дополнительный объем ценной информации для принятия решений. Эксперт, в свою очередь, продолжит обогащать систему своими знаниями и опытом в части решения комплексных задач по обработке отклонений. В итоге, такая система позволит перейти к предиктивной модели управления, что позволит существенно повысить стабильность всей цепочки добавленной стоимости компании, сократить потери, увеличить оперативность, скорость принятия решений, гарантировать необходимое качество и точное количество нефтепродуктов конечным потребителям, иметь гибкость к внешним условиям на рынке топлив и премиальных нефтепродуктов, а значит, и достичь цели цифровой трансформацией ВИНК.

Список литературы

1. Орлов, С. Искусство быть лидером / С. Орлов // Сибирская нефть, 2018. – № 7/154. – С. 6 – 11.
2. Шмелев, П. Фундаментальный тренд / П. Шмелев // Сибирская нефть, 2019. – № 4/161. – С. 28 – 33.
3. Ковергин, Р. Е. Информационная система поддержки принятия решений, основанная на интеллектуальном анализе данных / Р. Е. Ковергин, В. Н. Шамкин // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы IV-й Междунар. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов, 10 – 12 июля 2017 г. – Тамбов : Изд-во Першия Р. В., 2017. – С. 256–257.

Кондусов В. А.¹, Кондусов В. В.²

¹Воронежский государственный технический университет
(г. Воронеж, Россия)

²ООО «Импри» (г. Воронеж, Россия)

МАГНИТНЫЙ ИМПЕДАНС В АМОРФНОМ СПЛАВЕ $\text{Fe}_{74}\text{P}_{18}\text{Mn}_5\text{V}_3$ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 0,5...100 МГц

Аннотация. Проведено исследование зависимости эффекта магнитного импеданса от напряженности внешнего постоянного магнитного поля для аморфного металлического сплава $\text{Fe}_{74}\text{P}_{18}\text{Mn}_5\text{V}_3$ в диапазоне частот 0,5...100 МГц.

Ключевые слова: скин-эффект, вихревые токи, магнитная проницаемость.

В настоящее время к числу явлений, вызывающих особый интерес исследователей, относится магнитный импеданс [1, 2]. Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных изучению этого эффекта, до настоящего времени остается не исследованным целый ряд вопросов, необходимых для полного понимания его природы [2]. Целью данной работы являлось проведение исследования эффекта магнитного импеданса $\Delta Z/Z_0$ в аморфных металлических сплавах на основе железа, а именно, исследование влияния частоты электрического тока f и напряженности постоянного магнитного поля H на величину магнитного импеданса.

В работе исследовался аморфный сплав $\text{Fe}_{74}\text{P}_{18}\text{Mn}_5\text{V}_3$, полученный закалкой из жидкого состояния методом спиннингования, в виде фольги толщиной ~30 мкм, шириной 1 мм и длиной от 10 до 50 мм в магнитных полях до 80 кА/м и частотах переменного тока, протекающего по образцу от 0,5 МГц до 100 МГц. Величина эффекта магнитного импеданса $\Delta Z/Z_0$ определялась как [2]

$$\Delta Z/Z_0 = (Z_H - Z_0)/Z_0 = (U_H - U_0)/U_0, \quad (1)$$

где Z_0 – импеданс образца при $H = 0$; Z_H – импеданс образца в магнитном поле H ; U_H – падение напряжения на образце в поле H ; U_0 – падение напряжения на образце при $H = 0$.

На рисунке 1 показаны характерные экспериментальные полевые зависимости магнитного импеданса исследуемой аморфной ленты для нескольких частот возбуждающего тока f (длина образца 17 мм). Хорошо видно, что по мере увеличения f происходит трансформация кривой типа «одиночный пик» в кривую типа «двойной пик».

При ориентации оси ленты параллельно внешнему постоянному магнитному полю при частоте электрического тока 1 МГц с ростом H происходит монотонное изменение величины магнитного импеданса

образца $\Delta Z/Z_0$ и выход зависимости $\Delta Z/Z_0(H)$ на насыщение. Величина эффекта магнитоимпеданса имеет отрицательное значение и в поле 5 кА/м составляет 22%. При частоте высокочастотного тока 7 МГц характер зависимости $\Delta Z/Z_0 = f(H)$ не меняется, а величина эффекта ГМИ увеличивается до 55% и начинает появляться положительная составляющая импеданса $\sim 2,5\%$. На частоте 20 МГц с ростом H эффект магнитного импеданса сначала возрастает, достигая максимума при $H = 1,4$ кА/м, а затем монотонно уменьшается с дальнейшим выходом зависимости $\Delta Z/Z_0(H)$ на насыщение при 60 кА/м. Значение положительного эффекта магнитного импеданса составляет 7%, а отрицательного – 50%.

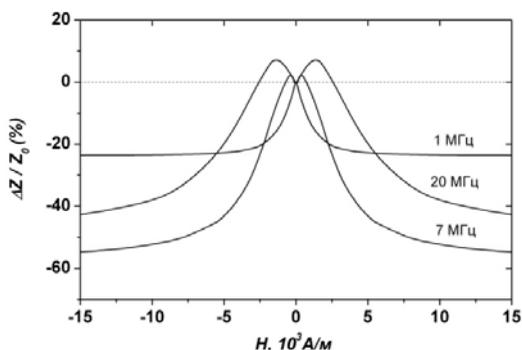


Рис. 1. Относительные изменения магнитного импеданса (т.е. $\Delta Z/Z_0(\%)$) быстрозакаленной аморфной ленты $\text{Fe}_{74}\text{P}_{18}\text{Mn}_5\text{V}_3$ от величины внешнего магнитного поля (H) для токов разной частоты

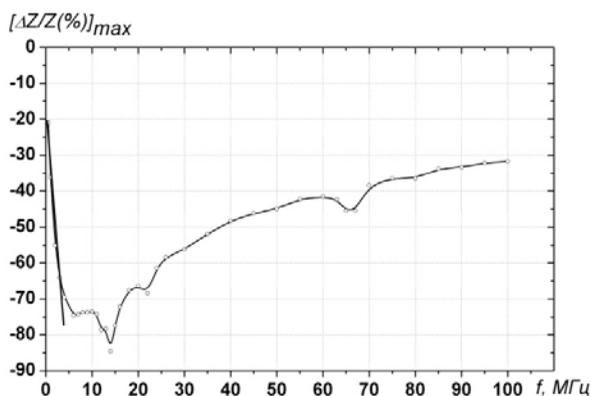


Рис. 2. Зависимость относительного изменения магнитного импеданса от частоты переменного тока для аморфного сплава $\text{Fe}_{74}\text{P}_{18}\text{Mn}_5\text{V}_3$

На рисунке 2 представлена зависимость относительного изменения максимального значения магнитного импеданса от частоты переменного тока для аморфного сплава $\text{Fe}_{74}\text{P}_{18}\text{Mn}_5\text{V}_3$. Максимум величины относительного изменения магнитного импеданса, имеющего отрицательное значение, наблюдается на частоте $f = 14$ МГц и составляет 85%.

На графике можно выделить два характерных участка: низкочастотный (0,5...5 МГц) и высокочастотный (20...100 МГц), отличающиеся углом наклона кривой зависимости $\Delta Z/Z_0(f)$. На низкочастотном участке $\Delta Z/Z_0 \sim f$. Если предположить что на высокочастотном участке на величину магнитного импеданса начинает влиять скин-эффект, зависимость $\Delta Z/Z_0(f)$ была также построена в координатах $\Delta Z/Z_0(f^{-1/2})$. Из анализа рис. 2 видно, что высокочастотный участок лучше укладывается на прямую линию в координатах $\Delta Z/Z_0(f^{-1/2})$, а низкочастотный – $\Delta Z/Z_0(f)$.

На низких частотах (от 0,5 до 5 МГц), когда плотность электрического тока однородна по сечению образца в любой момент времени, энергия, рассеиваемая микровихревыми токами за период, линейно растет с частотой. Это приводит к увеличению эффекта и экспериментально подтверждается прямо пропорциональной зависимостью эффекта $\Delta Z/Z_0$ от частоты.

На высоких частотах магнитный скин-эффект приводит к тому, что плотность электрического тока изменяется в тонком слое вблизи поверхности, и потери энергии за период определяются зависимостью глубины скин-слоя $\delta \sim f^{-1/2}$, что приводит к спаду магнитного импеданса $\sim f^{-1/2}$.

При частоте проявления максимума отрицательного магнитного импеданса (для исследуемого аморфного сплава $f_{\text{max}} \sim 14$ МГц) толщина образца будет сравнима с толщиной скин-слоя. Для расчета толщины скин-слоя в металле (приблизительно) можно использовать следующую эмпирическую формулу (все величины выражены в системе СИ):

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_m f}}, \quad (2)$$

где ρ – удельное сопротивление образца; f – частота; μ_m – относительная эффективная магнитная проницаемость. Зная величину удельного электрического сопротивления ρ для данного сплава, можно оценить величину относительной эффективной магнитной проницаемости. Так, для исследуемого сплава оценка относительной эффективной магнитной проницаемости (из формулы 2).

$$\mu_m = \frac{\rho \cdot 2,53 \cdot 10^5}{f \delta^2}, \quad (3)$$

где $\rho \approx 1,3 \times 10^{-6}$ Ом·м; $f \approx 14$ МГц, $\delta \approx 30$ мкм, показала, что $\mu_m \approx 26$.

Таким образом, проведенное исследование эффекта магнитного импеданса в аморфном сплаве $\text{Fe}_{74}\text{P}_{18}\text{Mn}_5\text{V}_3$ показало, что:

1) на частотной зависимости модуля магнитного импеданса наблюдается максимум при частоте электрического тока $f \approx 14$ МГц, который объясняется потерями энергии на вихревые токи;

2) установлено, что в высокочастотном диапазоне переменного электрического тока, протекающего через образец, на полевых зависимостях магнитного импеданса в исследуемых аморфных сплавах наблюдается положительная составляющая эффекта магнитного импеданса;

3) по положению максимума магнитного импеданса на частотной зависимости была оценена величина эффективной магнитной проницаемости для исследуемых аморфных сплавов, значение которой на частоте ~ 14 МГц составило ~ 26 ;

4) используя зависимость магнитного импеданса от внешнего магнитного поля, можно определить, является ли магнитный материал удовлетворяющим для производства различных сенсоров и датчиков.

Список литературы

1. Panina, L. V. Magneto-impedance in multilayer films / L. V. Panina // Sensors and Actuators. – 2000. – P. 71 – 77.

2. Анашко, А. А. Магнитоимпедансный эффект в аморфных FeCoMoSiB -лентах / А. А. Анашко, А. В. Семиров, А. А. Гаврилюк // ЖТФ. – 2003. – Т. 73, вып. 4. – С. 49.

Коновалова К. Н., Судаков Д. Е.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛЯЦИИ

Аннотация. Разработана модель сердечно-сосудистой системы пациента с целью повышения информативности показателей для поддержки принятия решений врача при диагностике и терапии кардиологических больных путем добавления системы регуляции.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, моделирование гемодинамики, регуляция, планирование лечения.

Физиологическое обоснование регуляции сердечно-сосудистой системы – важнейшая задача современной медицины. Болезни, связанные с нарушением функции сердечно-сосудистой системы, лидируют

среди главных причин смертности во всем мире. Для диагностики и планирования лечения таких заболеваний ведется разработка программно-аппаратных комплексов, основой которых являются математические модели сердечно-сосудистой системы.

Целью работы является повышение информативности показателей, получаемых с помощью программно-аппаратного комплекса, на основе математической модели сердечно-сосудистой системы для поддержки принятия решений врача при диагностике и терапии кардиологических больных путем добавления системы регуляции.

Результаты работы представляют весьма обширный интерес как для практических приложений в физиологии и медицине, так и для теоретических исследований, включающих дальнейшее развитие модели и интеграцию ее с моделями других систем организма человека.

Моделирование гемодинамики сердечно-сосудистой системы проведено в программной среде Matlab. При моделировании регуляции сердечно-сосудистой системы в целом используются представления общей теории управления. Основы теории управления требуют в каждом конкретном случае выделения цели регуляции. Основной целью управления кровообращением является своевременная доставка в ткани кислорода, питательных веществ, различных биологических регуляторов и воды. Из ткани должны выводиться метаболиты, тепло и инкреторные продукты. Кроме того, дополнительной целью управления кровообращением следует считать поддержание самого кровообращения и экономизацию резервов кровотока [1, 2].

В качестве основы для дальнейшей работы будем использовать четырехкамерную модель сердечно-сосудистой системы.

В качестве начальных значений давления в камерах модели (резервуарах) используются измерения, полученные экспериментально. Есть массив данных со значениями объема, давления и т.д., полученными экспериментально в различные фазы периоды систолы и диастолы.

Для примера рассмотрим модель кровообращения с параметрами, соответствующими «нормальному человеку». «Нормальный человек» имеет вес 72 кг, поверхность тела $1,72 \text{ м}^2$. Это понятие используется для выражения нормы, присущей людям вообще. Здесь период сердечных сокращений и длительность систолы также соответствуют «нормальному человеку» $T(n) = 0,857 \text{ с}$, $T_{\text{сис}} = 0,284 \text{ с}$ [3].

На основе представленной математической модели создана система автоматизированного расчета функций и параметров сердечно-сосудистой системы и прогнозирования ее состояния. Система разработана в среде Matlab. В ее состав входят:

- модуль ввода исходных данных для расчета функций и параметров сердечно-сосудистой системы;
- модуль настройки параметров модели под конкретного человека;
- модуль решения системы дифференциальных уравнений;
- модуль вывода расчетных данных в виде числовых значений, графиков и демонстрации изменения значений гемодинамических функций сердечно-сосудистой системы.

В кровотоке на регионарном уровне главной управляемой переменной служит величина pO_2 . Объемная скорость кровотока является управляющей переменной. Применительно к системному кровотоку управляемой переменной следует считать pO_2 в тканях (в венозной крови), а уровень системного артериального давления (САД) будет играть роль управляющей переменной [4].

Механизмы управления местным кровотоком сосредоточены на периферии (в тканях и органах). Стабилизация САД осуществляется образованиями продолговатого мозга. Кроме того, как уже разбиралось ранее, к выработке необходимых величин системного кровотока причастны гипоталамические и кортикальные структуры нервной системы [5].

Упрощенная схема модели представлена на рис. 1 [6]. Неуправляемая ССС подвергается воздействию множества факторов, как внешних, так и внутренних. Так же в представленную ранее модель вводится регулирующее звено, которое обеспечивает сравнение текущего состояния системы с некоторой заданной величиной и восстанавливает исходное значение.

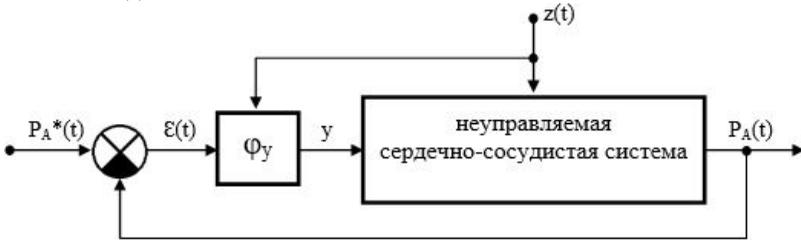


Рис. 1. Обобщенная схема регуляции артериального давления:

$P_A^*(t)$ – задающая величина, $\varepsilon(t)$ – ошибка регулирования, Φ_y – регулятор, y – управление, z – возмущение, $P_A(t)$ – выходная величина

Берутся средние значения, следовательно, и изменения этих показателей в результате воздействия внешних факторов также берутся из диапазона измеренных значений, но усредненными. Поэтому далее

под «нормой» и «нормальным значением» будем понимать именно усредненную версию экспериментальных данных. Малейшее воздействие внешних факторов влечет за собой ответное изменение показателей состояния сердечно-сосудистой системы [7].

Разработана модель сердечно-сосудистой системы пациента, учитывающая процессы регуляции, которая отражает изменения параметров гемодинамики в ответ на внешние воздействия. На основе предложенной модели создана система мониторинга состояния человека на основе математической модели регуляции сердечно-сосудистой системы, которая позволяет оценить состояние здоровья пациента после лечебного воздействия, предоставляющая возможность исследования влияния фармакологических препаратов на параметры гемодинамики человека.

Список литературы

1. Лищук, В. А. Математическая теория кровообращения / В. А. Лищук. – М. : Медицина, 1991. – 256 с.
2. Четырехкамерная модель сердечно-сосудистой системы человека / С. В. Фролов, С. В. Синдеев, В. А. Лищук и др. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 51 – 60.
3. Mathematical modeling of blood flow with partial derivatives in basilar artery bifurcation region / С. В. Фролов, С. В. Синдеев, Д. Липш, А. Балассо // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – № 1. – С. 50 – 58.
4. Лищук, В. А. Система закономерностей кровообращения / В. А. Лищук // Клиническая физиология кровообращения. – 2005. – № 4. – С. 14 – 24.
5. Ведру, Ю. В. Математическая модель сердечно-сосудистой системы для имитационных исследований кровообращения человека: дис. канд. биол. наук: 14.00.17, 05.13.09 / Ю. В. Ведру. – М., 1988. – 256 с.
6. Лищук, В. А. Система клинико-физиологических показателей кровообращения / В. А. Лищук, Д. Ш. Газизова // Клиническая физиология кровообращения. – 2004. – № 1. – С. 28 – 38.
7. Прошин, А. П. Математическое моделирование системы кровообращения и его практические применения / А. П. Прошин, Ю. В. Солодяников // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 2. – С. 174 – 188.

Косогорцев А. А., Пудовкин А. П.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

МЕТОД И УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВОГО ЛЕНТОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Аннотация. В настоящей работе представлен анализ литературных данных по методам и средствам контроля качества многослойных материалов при их производстве. Отмечается, что недостаточно исследованными являются многослойные комбинированные композиции. В работе представлены результаты исследований емкостного метода контроля толщины слоев металлофторопластового ленточного материала.

Ключевые слова: измерение толщины, емкостный метод, металлофторопласт.

Для промышленного производства металлофторопластовых ленточных материалов проблема контроля их качества в производственном процессе изготовления является востребованной и актуальной.

Технология производства металлофторопластовых ленточных материалов включает следующие процессы: плакирование стальной ленты слоем меди; нанесение на плакированную поверхность слоя из сферических частиц бронзы; получение пористого слоя путем спекания частиц бронзы; заполнение пор каркаса фторопластом с наполнителем; спекание фторопласта в порах и на рабочей поверхности материала [1]. Основными показателями качества этого многослойного материала являются: прочность соединения слоев стали и меди; геометрические размеры (толщина ленты, соотношения толщин слоев); качество нанесения бронзового слоя; равномерность заполнения пор фторопластом с наполнителем; пористость бронзового каркаса; равномерность толщины фторопластового поверхностного слоя и бронзового подслоя; теплофизические свойства.

Из металлофторопластовых материалов изготавливают свертные втулки, упорные кольца, вкладыши без использования механической обработки резанием, что является причиной повышенных требований к допускам как на общую толщину, так и толщину каждого слоя производимой ленты.

Результаты анализа существующих методов и средств контроля качества многослойных материалов по литературе [2 – 5] приведены в табл. 1.

1. Применение неразрушающих методов для контроля качества металлофторопластового ленточного материала

Методы Характеристики качества	Емкостные	Оптические	Ультразвуковые	Электромагнитные	Тепловые
Сплошность соединения слоев	Не применимы	Не применимы	Необходим контакт с объектом	Для толщины материала менее 0,2 мм	Для толщины материала более 0,4 мм
Соотношения толщин слоев	Применимы	Не применимы	Необходим контакт с объектом	Для толщины материала менее 0,2 мм	Для толщины материала более 0,4 мм
Толщина биметаллической полосы	Применимы	Применимы	Необходим контакт с объектом	Применимы	Ограничены по чувствительности
Теплофизические свойства	Не применимы	Не применимы	Не применимы	Не применимы	Применимы
Пористость бронзового каркаса	Не применимы	Не применимы	Не применимы	Применимы	Применимы

В данной работе был сделан упор на перспективность применения комплексного метода контроля основных характеристик качества многослойных материалов в процессе их производства.

В работе [6] для контроля толщины приработочного фторопластового слоя использован тепловой метод. Для повышения точности контроля, вместо теплового метода, предложен и исследован емкост-

ный метод, сущность которого заключается в применении емкостного датчика, представляющего собой трехобкладочный конденсатор. В качестве центральной обкладки 2 которого используется движущаяся металлическая основа толщиной h с нанесенным на ее поверхность фторопластовым слоем толщиной h_x . С двух сторон от металлофторопластовой ленты на равном расстоянии d расположены верхняя 1 и нижняя 3 обкладки измерительного конденсатора. Для уравнивания емкостей измерительного конденсатора на поверхность нижней обкладки нанесен фторопластовый слой толщиной h_1 . Датчик включается в мостовую балансную схему [7] (рис. 1), питание которой происходит от генератора переменного тока, подключенного к первой диагонали.

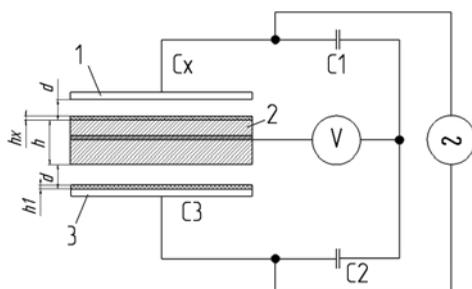


Рис. 1. Емкостный датчик, включенный в мостовую схему

Изменение толщины контролируемого слоя приводит к изменению емкости датчика, которое определяется по формуле

$$C_x = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1 - (1 - 1/\varepsilon_1)h_x}, \quad (1)$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная $8,85 \cdot 10^{-12}$, Ф/м; S – площадь конденсатора, м; d – расстояние между обкладками, м; h_x – толщина фторопластового слоя, м; ε_1 – диэлектрическая проницаемость фторопластового слоя.

Тогда толщина фторопластового слоя определяется по выражению

$$h_x = \frac{d_1 - \varepsilon_0 S / C_x}{1 - 1/\varepsilon_1}. \quad (2)$$

Изменение толщины прирабочного слоя приводит к разбалансировке моста и изменению выходного напряжения, которое фиксируется измерительным прибором, подключенным ко второй диагонали

схемы. Значение выходного напряжения от изменения емкости измерительного конденсатора определяется выражением

$$U_{\text{вых}} = e \frac{X_{C2}X_{C3} - X_{C1}X_{Cx}}{(X_{C1} + X_{C2})(X_{C3} + X_{Cx})}, \quad (3)$$

где e – ЭДС источника питания, В; X_{C1} , X_{C2} , X_{C3} – значения сопротивления конденсаторов в 1 – 3 плечах, Ом; X_{Cx} – значение сопротивления измерительного конденсатора, Ом.

Результаты исследования изменения выходного напряжения схемы от изменения толщины прирабочного слоя приведены в табл. 2.

2. Зависимость напряжения $U_{\text{вых}}$ от толщины фторопластового слоя h_x

h_x , мкм	30	40	50	60	70	80	90
$U_{\text{вых}}$, В	0,162	0,107	0,053	0	0,051	0,104	0,18

Исследование показало, что использование емкостного метода приемлемо для контроля толщины прирабочного слоя металлофторопластового ленточного материала в процессе его производства. Чувствительность данного метода составляет 0,006 В/мкм, а погрешность измерения не превышает 7%.

Список литературы и источников

1. Семенов, А. П. Металлофторопластовые подшипники / А. П. Семенов, Ю. Э. Савинский. – М. : Машиностроение, 1976. – 192 с.
2. Пат. Российская Федерация, МПК G01B 7/06. Способ непрерывного контроля толщины и сплошности соединения слоев биметалла / Семенов Д. В., Пудовкин А. П. ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГТУ» Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Гамбовский государственный технический университет». – № 2009123714/28 ; заявл. 22.06.2009 ; опубл. 20.09.2010.
3. Ключев, В. В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий : справочник : в 2-х кн. / под ред. В. В. Ключева. – М. : Машиностроение, 1986. – 420 с.
4. Алешин, Н. П. Методы акустического контроля металлов / Н. П. Алешин. – М. : Машиностроение, 1989. – 456 с.
5. Пудовкин, А. П. Метод бесконтактного неразрушающего контроля слоев двухслойных изделий и анализ теплофизический процес-

сов в биметаллах / А. П. Пудовкин, В. Н. Чернышов, Ю. В. Плужников, А. В. Колмаков // Вестник ТГТУ. – 2002. – Т. 8. – № 2.

6. Пат. Российская Федерация, МПК⁷G01b7/06. Способ непрерывного контроля толщины слоев четырехслойного металлофторопластового ленточного материала, пористости его металлического каркаса и концентрации входящих в четвертый слой компонент / Банников А. Н., Пудовкин А. П., Чернышова Т. И.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГТУ» Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». – № 2006117923/28 ; заявл. 24.05.2006 ; опубл. 20.12.2007.

7. Келим, Ю. М. Электромеханические и магнитные элементы систем автоматики / Ю. М. Келим. – М. : Высшая школа, 2004. – 93 с.

Кувшинников В. С., Ковшов Е. Е.
АО «НИКИМТ-Атомстрой» (г. Москва, Россия)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОРТАЛЬНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ

Аннотация. Рассматривается комплексный подход с применением нейронной карты к повышению энергоэффективности портального манипулятора как важного транспортного средства промышленного предприятия в контексте снижения затрат на модернизацию и последующую эксплуатацию устаревшего технологического оборудования при повышении энергоэффективности предприятия как множества частных решений.

Ключевые слова: портальный манипулятор, нейронная карта, промышленная автоматизация, энергоэффективное производство.

Введение. В настоящее время понятие «энергоэффективность» широко применяется в различных сферах деятельности человека. В странах Европейского Союза постоянно повышаются требования к классу энергосбережения изделий как в производственном, так и в жилищном секторе [1].

Энергетическая эффективность функционирования промышленных предприятий оценивается с помощью показателя удельного расхода энергии на меру производимой продукции, называемого показателем энергоемкости. Однако энергоэффективности можно дать и более широкое определение: как степень полезного использования подводимой к той или иной энергоустановке первичной энергии, которая

(степень) зависит от применяемой технологии производства продукции, выполнения работ и оказания услуг [2].

Итоговая энергоэффективность предприятия в целом зависит от большого количества взаимозависимых факторов, таких как: КПД используемого оборудования, качество энергосети, технологический уровень сети управления и др. При этом технологии промышленного «Интернета вещей» становятся все доступнее, и потенциальная выгода от применения даже устройств малой автоматизации значительно перевешивает затраты на их внедрение [3].

На многих промышленных предприятиях традиционно применяются специализированные средства для транспортировки тяжелых грузов (объектов), например, крупные порталные манипуляторы (ПМ), использующиеся для проведения вспомогательных операций перемещения объектов как с мест складирования, так и между рабочими участками. Особенностью ПМ является одновременная работа преимущественно с одним объектом, невозможность установки большого числа манипуляторов, большие дистанции пробега и расчетные массы перемещаемых объектов [4].

Выделим факторы, влияющие на энергоэффективность ПМ, которые могут быть разделены на две основные группы:

1. Пассивные: качество электрического питания в сети; правильный подбор силовых электродвигателей и преобразователей; применение устройств плавного пуска электродвигателей; качество систем энергоснабжения [5].

2. Активные: оптимальность траектории перемещения ПМ; плавность хода ПМ; учет влияния изменения пространственной геометрии ПМ в ходе его работы; качество и надежность работы кинематических пар, муфт, тормозов.

В связи с особенностями ПМ, они традиционно оснащены мощными асинхронными электродвигателями, которые относительно просты, надежны и доступны, но при этом, энергоэффективный подход к управлению имеет дело с их чувствительностью к качеству формирования питающего напряжения, а также требует соблюдения особенностей в их управлении [6].

Формирование оптимальной траектории перемещения объектов как одного из слагаемых энергоэффективности может достигаться большим числом применяемых на практике математических методов: оптимизационными; на основе потенциальных полей, клеточной декомпозиции, графов; интеллектуальными и др. [7]. Добиться приемлемого результата в части энергоэффективности возможно путем модернизации либо неавтоматизированных ПМ, либо ПМ с низкой

степень автоматизации. Максимально просто повысить эффективность ПМ при перемещении грузов возможно на относительно небольших промышленных участках серийного производства. Автоматизация ранее неавтоматизированного ПМ для формирования эффективных трехмерных траекторий не потребует ни существенного изменения их конструкции, ни обременительного демонтажа самого манипулятора.

Одним из подходов к представлению рабочего пространства и поиску траекторий в пространстве достижимых конфигураций является метод нейронной карты [8]. Метод подразумевает использование декомпозиции рабочего пространства на множество групп конфигураций с применением кластеризации по критериям достижимости и опасности столкновения с препятствием. Множеству групп конфигураций ставится в соответствие множество искусственных нейронов. Синаптические связи и веса формируются в процессе активации карты для заданных начальных условий. Важным отличием метода от других является возможность учета анизотропных свойств рабочего пространства, как, например, влияние гравитации, асимметрии жесткости конструкции и др. Навигация по активированной карте не требовательна к вычислительным ресурсам СУ, предоставляя при этом внушительный потенциал, отличающийся свободой выбора цели перемещения без повторной активации самой нейронной карты.

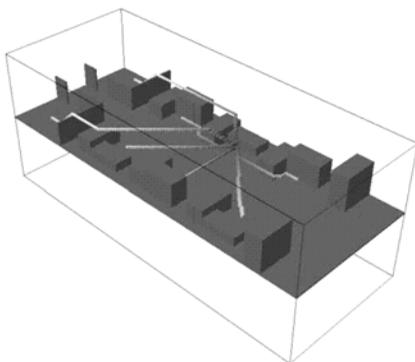


Рис. 2. Пример сформированных оптимальных траекторий перемещения ПМ

Пример траекторий, сформированных с использованием ПО нейронной карты, представлен на рис. 2. Учитывая высокую степень повторяемости действий, выполнение затратных вычислительных процедур для расчета подробной карты промышленного участка потребует

в редких случаях [9]. Таким образом, применение нейронной карты в решении траекторной задачи, наряду с иными методами, вносит свой вклад в энергоэффективное управление.

Список литературы

1. Кавешников, Н. Ю. Европейский союз: экономический рост без роста энергопотребления? / Н. Ю. Кавешников // Научно-аналитический Вестник Института Европы РАН. – 2018. – № 4.

2. Гулбрандсен, Т. Х. Энергоэффективность и энергетический менеджмент : учебно-методическое пособие / Т. Х. Гулбрандсен, Л. П. Падалко, В. Л. Червинский. – Минск : БГАТУ, 2010. – 240 с.

3. Казаков, Д. Ф. Формирование киберфизического пространства цифрового производства с применением smart-технологий / Д. Ф. Казаков, В. С. Кувшинников, Е. Е. Ковшов // НИКИЭТ : сборник докладов конференции молодых специалистов. – 2019. – Пленарная сессия. – С. 80 – 86.

4. Кувшинников, В. С. Применение нейронной карты для вспомогательного управления в работе портального манипулятора / В. С. Кувшинников, Е. Е. Ковшов // Cloud of Science. – 2018. – Т. 5, № 2.

5. Оценка влияния несимметрии системы питающих напряжений на режимы работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором / И. Ф. Суворов, Д. А. Дейс, В. В. Романова, С. В. Хромов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 3 (51).

6. Казаков, Ю. Б. Энергоэффективность работы электродвигателей и трансформаторов при конструктивных и режимных вариациях : учебное пособие для вузов / Ю. Б. Казаков. – М. : Издательский дом МЭИ, 2013. – 152 с.

7. Кувшинников, В. С. Цифровые и информационные технологии при вспомогательном управлении портальным манипулятором бассейна выдержки / В. С. Кувшинников, Е. Е. Ковшов // НИКИЭТ : сборник докладов конференции молодых специалистов. – 2019. – Секция 7. – С. 1035 – 1046.

8. Lagoudakis, M. Neural Maps for Mobile Robot Navigation / M. Lagoudakis, A. Maida // Proceedings of the 1999 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). – Washington. – 1999. – P. 2011 – 2016.

9. Kuvshinnikov, V. S. Machine shop portal manipulator movement path modeling for digital manufacturing / V. S. Kuvshinnikov, E. E. Kovshov // Machine Building Metalworking Mogilev International Scientific and Practical Conference. – Mogilev. – 2019. – P. 70 – 72.

КОЛИЧЕСТВО ИНФОРМАЦИИ РИТМОГРАММЫ СЕРДЦА

Аннотация. По данным более 1000 регистраций электрокардиограмм здоровых и больных людей разного возраста выявлены структурно-топологические изменения в ритме сердца. В качестве динамического показателя неупорядоченности ритма сердца здоровых и больных людей предложено количество информации ритма. Выделены факторы детерминизма: процессы регуляции и управления ритмом.

Ключевые слова: диаграмма ритма сердца, количество информации.

Введение. Более 1 млн. человек ежегодно умирает в России от сердечно-сосудистых заболеваний. При этом, даже при ишемической болезни сердца при отсутствии адекватных показателей, человека относят к разряду относительно здоровых. Именно этими обстоятельствами определяются и актуальность и цель работы. Важность эффективной работы сердца для организма заключена, прежде всего, в насосной функции перекачивания крови по малому и большому кругам кровообращения. Кровь в организме выполняет многие функции: транспортную, гуморальную, теплораспределительную, свертываемости и фактора иммунитета. Обеспечивающие функции процессы модулированы ритмом сердца. При малом количестве крови гомеостатическая функция эффективна благодаря непрерывному и ритмичному движению в сосудах, расширяя рамки приспособления к факторам [1].

Цель работы – определение структурно-топологических закономерностей ритма сердца и соответствующих качественных и количественных адекватных показателей функциональных состояний организма человека.

Количество информации ритмограммы сердца. Регистрации электрокардиограмм (ЭКГ) проводились монитором Холтера в комплексе «*AnnAFIash2000*». Данные более 1000 регистраций ЭКГ в состоянии покоя у 750 молодых здоровых людей и пациентов реанимационных отделений больниц г. Владимира и г. Москвы конвертировались в последовательности значений *RR*-интервалов в лицензионной программе *EScreen* [2].

При заданной частоте дискретизации (1 кГц) диаграмма ритма сердца (ДРС) обрела точечную ярусную структуру, напоминающую «нотное письмо». Количество информации, недостающее для описания ДРС, в форме частного сообщения определялось уравнением $I = -\log_2 p$, бит. Рассмотрение ДРС в форме макросостояния системного ритма с набором микросостояний N_i в виде фазовых (ярус-

ных) значений RR -интервалов позволило применить к ней форму количества информации $I = A \log_2 \Gamma$, аккумулируемую ДРС, где $A = 1$, $\Gamma = N! / (N_1! N_2! \dots N_m!)$ [3 – 5].

На рисунке 1, *а*, *б* представлена диаграмма значений I в зависимости от размеров n цифровых рядов RR -интервалов на ЭКГ первой (1) и второй (2) групп обследуемых людей разного возраста за период 1998 – 2007 гг. и 2008 – 2018 гг. соответственно. Группу 1 представляли 103 регистрации ЭКГ у 32 условно здоровых обследуемых (УЗО) и 271 регистрация ЭКГ у 157 больных реанимационных отделений. Группу 2 представляли 1032 регистрации ЭКГ у 188 УЗО в возрасте 18 – 24 года.

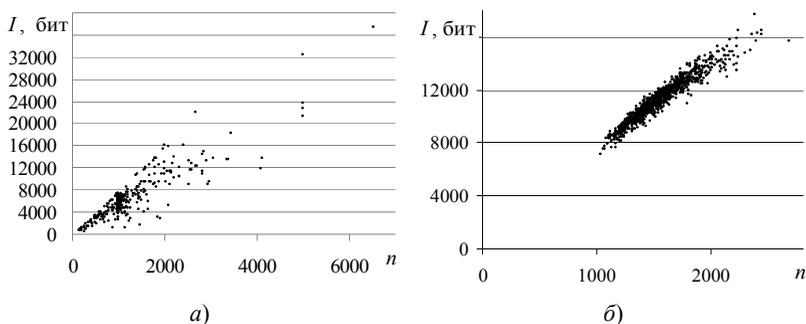


Рис. 1. Точечный график $I(n)$ для первой (а) и второй (б) группы обследованных

При росте объема выборки ритмограммы аккумуляция количества информации, недостающего для полного описания реализации ритма сердца, происходит по линейному закону. Достоверность аппроксимации (R^2) к линейному закону тем выше, чем больше объем n выборки. Для ритмограмм здоровых молодых людей функция $I(n)$ достоверно описывается линейной зависимостью уже при $n > (120 - 150)$. С возрастом человека без видимых проявлений переходных процессов угол наклона линейной зависимости $I(n)$ монотонно убывает. Это может указывать на наличие устойчивой тенденции в упорядочивании ритма сердца в течение жизни, или уменьшения «ресурса неупорядоченности ритма». Вероятно, монотонное падение величины $a = dI_{\Sigma} / dn$ от максимального значения a_{\max} продолжается всю жизнь человека с выработыванием ресурса. Заметим, что скорость аккумуляции количества информации $a = dI_{\Sigma} / dn$ имеет смысл информационной энтропии $I^* = I/n$ [5], а термин «ресурс неупорядоченности ритма»

по своему смыслу соотносится с понятием избытка локальной продукции энтропии [6]. При их уменьшении интенсивность хаотической составляющей ритма сердца должна падать при росте роли процессов управления и регуляции. Для ритмограмм больных людей величина a падает значительно быстрее. Если функция $I(n)$ делит информационное пространство на две части, то возникает возможность оценить верхнюю границу «области ресурсных состояний».

Две нижние точки на рис. 1, a представляют ритмограммы двух пожилых людей, находящихся в состоянии комы с конечным летальным исходом. Величина $a = dI_{\Sigma} / dn$ является универсальным показателем функционального состояния организма (ФСО), позволяя проводить сертификацию по этому интегральному признаку как для больных (по тяжести состояния), так и для здоровых людей. При этом уровень ФСО, характеризуемый максимальным значением информационной энтропии, $a_{\max} \approx I^* = (8,0 \pm 0,5 \text{ бит на единицу ритма})$, определен автором физиологической нормой для здоровых молодых людей. Тогда предельный угол наклона, определяющий a_{\max} , определяет также и условную «линию состояния здоровья».

Выводы.

1. Количество информации ритма сердца растет по линейному закону для здоровых людей. Ритмограммы здоровых молодых людей подобны по признаку максимальной скорости (a) аккумуляции количества информации. Угол наклона линейной зависимости монотонно падает с возрастом и быстро падает при развитии болезни.

3. При максимальном значении a_{\max} хаотическая составляющая в ритме сердца наиболее выражена. Нормальная физиологическая гибкость такой нелинейной системы, как сердце, заключается в хаотичности изменчивости ее ритма.

4. Источники детерминизма в ритме сердца отнесены к процессам регуляции и управления. Интенсификация этих процессов должна приводить к процессам структурирования ярусной диаграммы ритма сердца и к уменьшению кодированного в структуре количества информации

Список литературы

1. Физиология человека : в 3-х т. Т. 2. пер. с англ. / под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – М. : Мир, 1996. – 313 с.
2. Прилуцкий, Д. А. Накопитель ЭКГ «AnnAFlash300» / Д. А. Прилуцкий, А. А. Кузнецов, В. В. Чепенко // Методы и средства измерений физических величин. – Н. Новгород : НГТУ, 2006. – С. 31.

3. Кузнецов, А. А. Количество информации и энтропия ярусной диаграммы ритма сердца / А. А. Кузнецов // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 4. – С. 57 – 62.

4. Кузнецов, А. А. Связь между временными и структурно-топологическими характеристиками диаграмм ритма сердца здоровых людей / А. А. Кузнецов // Информатика и ее применения. – 2010. – Т. 4. – Вып. 4. – С. 39 – 48.

5. Кузнецов, А. А. Измерительные характеристики и свойства информационной энтропии диаграмм ритма сердца / А. А. Кузнецов // Измерительная техника. – 2011. – № 7. – С. 65 – 70.

6. Рубин, А. Б. Биофизика : в 2 т. Т. 1: Теоретическая биофизика : учебник для вузов / А. Б. Рубин. – 2-е изд. – М. : Книжный дом «Университет», 1999. – 448 с.

Кузьяев Д. Р., Пудовкин А. П.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ОБМЕНА ДАННЫМИ

Аннотация. Предложен метод увеличения помехоустойчивости процесса обмена данными, основанный на применении сканера частот, изменения мощности передатчика и чувствительности приемника, изменении структуры пакета данных.

Ключевые слова: беспроводная сеть, помехоустойчивость, сканер частот.

При развертывании беспроводной телеизмерительной системы контроля характеристик качества материала на распространение сигнала влияют не только особенности среды распространения сигнала, но и искусственные помехи: радиосвязь между соседними радиомодулями ZigBee, Wi-Fi и Bluetooth-устройства, микроволновые печи и др. Поэтому обеспечение помехоустойчивости узлов связи является важной задачей.

Существующие методы помехоустойчивости беспроводных систем связи основаны на переходе на соседний канал или нахождение промежутков для передачи сообщения, т.е. с остановкой обмена данными, что не приемлемо при непрерывном контроле характеристик качества материалов в процессе производства.

Вследствие чего разработан новый метод помехоустойчивости без остановки процесса обмена данными между радиомодулями ZigBee, который представляет совокупность методов борьбы с коллизией пакетов данных и помехами. Метод состоит в использовании механизма по борьбе с коллизией CSMA/CA внутри сети ZigBee, в которой радиомодуль перед отправкой сообщения прослушивает канал и отправляет jam-сигнал, резервируя промежуток времени для отправки данных.

Разработанный метод отличается использованием сканера частот для перехода на другой канал, что учитывает также предотвращение коллизии от других источников. К тому же, в разработанном методе предусмотрено изменение режимов выходной мощности передатчика и чувствительности приемника за счет возможности удаленной настройки радиомодулей. Например, для модулей XbeeS2C от компании DIGI, необходимо отправить команду **PM** со значением **0** для активации нормального режима, где уровень выходной мощности передатчика равен +3 дБм, а чувствительность приемника равна – 95 дБм. Значение 1 активирует повышенный («турбо») режим: уровень выходной мощности передатчика равен +8 дБм, а чувствительность приемника равна –102 дБм [1]. Также метод предлагает структурное изменение пакета данных с добавлением в информационную часть копии заголовка (двойной заголовок). Известно, что при коллизии и передаче пакета данных через зашумленный канал связи повреждается только передняя часть пакета [3], остальная часть пакета не подвергается повреждению. При этом приемник должен правильно обработать поврежденный пакет за счет использования двойного заголовка пакета данных [3]. Использование двойных заголовков возможно благодаря простому подходу к кодированию пакетов, при этом не нужно изменять схему модуляции и скорость передачи. Схема проста, нужно сделать копию заголовка в информационную часть пакета. Введение двойного заголовка уменьшит длину полезной информации. Если длина заголовка равна 16 байтам, тогда длина полезной информации будет равна 115 – 16, т.е. 0...99 байт.

На рисунке 1 показан пакет с одним дополнительным заголовком, записанным в информационную часть пакета.



Рис. 1. Структура пакета данных с двойным заголовком

Если первые байты преамбулы будут повреждены, приемник не сможет определить первый «Старт», вместо этого приемник обнаружит второй «Старт» и будет считать, что пакет начинается с этого места. С другой стороны, при отсутствии источников помех, повреждающих переднюю часть переданного пакета, приемник обнаружит первый «Старт», рассматривая его как начало пакета, и обработает второй заголовок пакета как часть полезной нагрузки. Данная излишняя информация может внести проблему в обработку данных, и поэтому приемник должен быть правильно настроен, учитывая дополнительный заголовок. Программный стек приемника должен удалить дополнительный заголовок из принятого пакета перед доставкой его адресату.

Рассмотрим алгоритм (рис. 3), описывающий принцип работы метода повышения помехоустойчивости процесса обмена данными.

Этап 1. Координатор беспроводной сети ZigBee определяет свободный канал. Определение свободного канала основано на замере уровня RSSI на каждом канале и выбирается тот канал, на котором это показание наименьшее. Далее координатор формирует сеть, определяет, какие оконечные устройства или маршрутизаторы входят в сеть. В сеть входят те устройства, которые имеют одинаковые с координатором PANID. Радиомодули сети по команде координатора устанавливают выбранный канал и нормальный режим работы.

Начало работы по обмену информацией и включение встроенного в ZigBee механизма борьбы с коллизией пакетов CSMA/CA.

Во время работы координатор сети фиксирует уровень RSSI и время начала потери кадров.

Этап 2. Сканер частот. При потере кадров или увеличении уровня RSSI выше 90% от максимальной чувствительности приемника в нормальном режиме, активизируется сканер частот, т.е. для XbeeS2C при превышения значения $RSSI1 = (95 + 3) \cdot 0,9 = 98 \cdot 0,9 = 88$ дБм. Сканер определяет RSSI каналов в диапазоне работы сети. Свободными каналами являются те, у которых $RSSI \leq RSSI1$. Во время сканирования процесс обмена сообщениями не останавливается. На рисунке 2 показан спектр, полученный с помощью сканера частот.

Сканер частот сообщает координатору о свободных каналах, и он записывает их в реестр. Сканирование и обновление информации в реестре проводятся с некоторой периодичностью, которая зависит от особенностей среды обмена информацией и энергоэкономических показателей. Далее координатор сообщает радиомодулям сети о переходе на свободный канал, после получения подтверждения от всех участни-

ков сети инициируется процесс перехода. Работа по обмену сообщениями продолжается. Если снова возникнут потери кадров или RSSI выше 90% от максимальной чувствительности приемника, координатор выбирает свободный канал из реестра и инициирует переход сети. В случае отсутствия свободных каналов, проводится внеочередное сканирование. Во время сканирования процесс обмена сообщениями не останавливается.

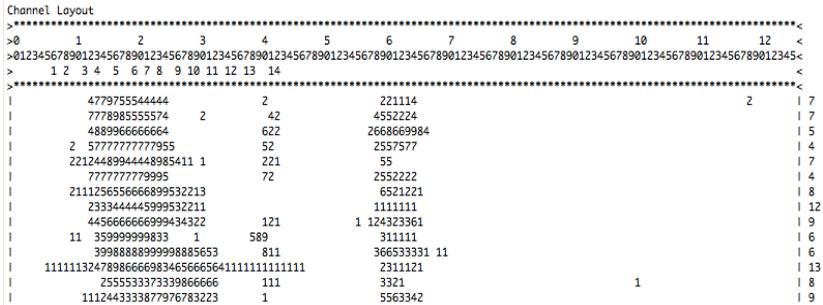


Рис. 2. Спектр частотного диапазона 2,4 ГГц

Этап 3. Режим «турбо». При отсутствии свободных каналов координатор инициирует переход всех устройств сети в режим «турбо», в котором происходит повторная оценка каналов, и в этом случае свободными каналами считаются каналы с уровнем $RSSI \leq RSSI2 = (102 + 8) \cdot 0,9 = 110 \cdot 0,9 = 99$ дБм. Допустимые каналы при этом записываются в реестр и работа по обмену сообщениями на свободных каналах продолжается. При работе на данном режиме сканнер частот увеличивает частоту сканирования либо работает постоянно. В случае появления каналов, на которых уровень $RSSI \leq RSSI1 = 88$ дБм производится переход на нормальный режим и одновременный уход на свободный канал.

Этап 4. Двойной заголовок. В случае отсутствия свободных каналов при включенном режиме «турбо» координатор инициирует переход на режим с «двойным заголовком» пакета, и в случае появления свободных каналов происходит уход с данного режима с переходом на свободный канал.

Таким образом, разработанный метод позволяет повысить помехоустойчивость канала связи, увеличить производительность контроля и обработки результатов.

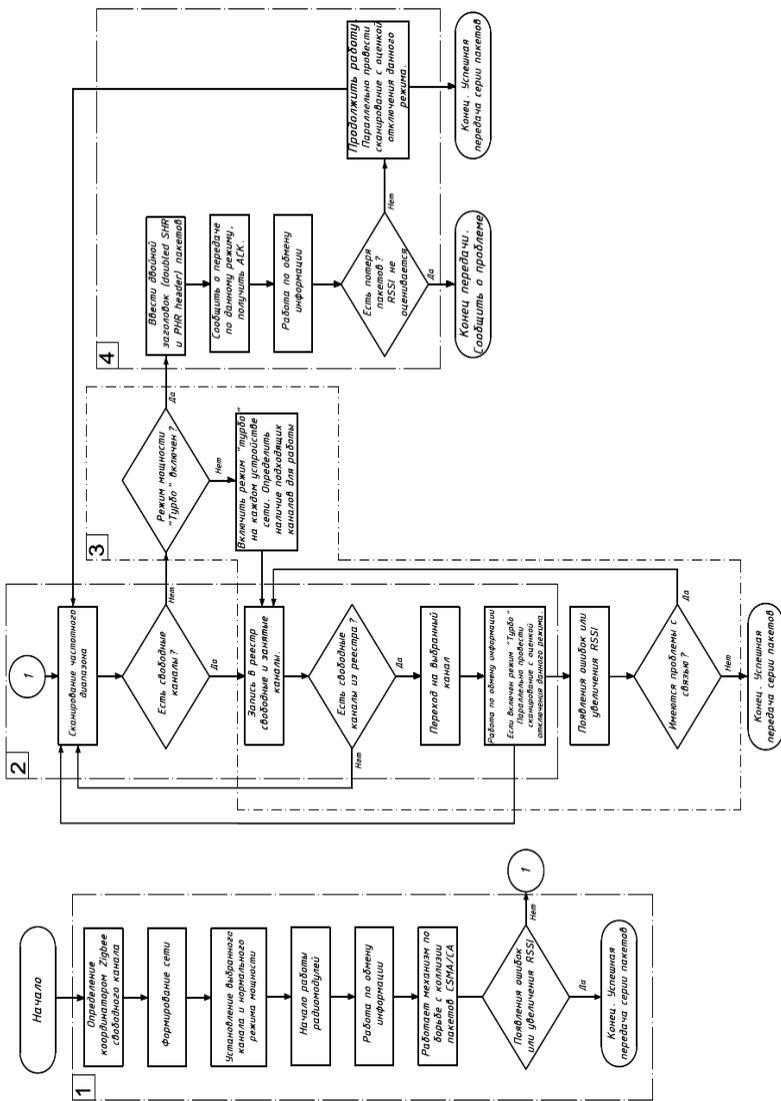


Рис. 3. Алгоритм работы разработанного метода увеличения помехоустойчивости без остановки процесса обмена данными

Список литературы и источников

1. ZigBee Alliance. ZigBee Specification [Электронный ресурс]. URL : Q4/2007//www.zigbee.org/en/spec_download/zigbee_downloads.asp/ (дата обращения: 05.06.2018).
2. Chieh-Jan Mike Liang. Surviving Wi-Fi Interference in Low Power ZigBee Networks / Chieh-Jan Mike Liang, Nissanka Bodhi Priyantha, Jie Liu, Andreas Terzis // SenSys. – 2010. – С. 309 – 322.
3. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах: монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
4. Концепция построения и структура перспективного информационно-измерительного комплекса / У. Р. Наимов, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин и др. // Вестник ТГТУ. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 30 – 36.

Кузьяев Д. Р., Пудовкин А. П.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ В ЦЕХОВЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. Представлен анализ и сравнения моделей распространения сигнала внутри помещения с результатами, полученными в ходе проведения натурного эксперимента в цеховых условиях.

Ключевые слова: беспроводная сеть, модель распространения сигнала внутри помещений, экспериментальное исследование, ZigBee, IEEE802.15.4.

При планировании и развертывании беспроводной сети в цеховых условиях необходимо оценивать условия распространения радиоволн. Внутри помещений они встречают на своем пути объекты, которые препятствуют распространению, это может привести к затуханию и многолучевости распространения сигнала.

Проведен анализ основных эмпирических моделей, используемых для описания условий распространения радиоволн внутри помещений, для диапазона частот 2,4 ГГц.

Модель распространения сигнала при отсутствии препятствий между передатчиком и приемником описывается по формуле Фрииса [1]

$$L = 32,44 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d),$$

где d – расстояние в километрах; f – частота в мегагерцах.

Модель с одним наклоном (One-slopedmodel) описывает линейную зависимость потери мощности сигнала от расстояния между передатчиком и приемником с усредненным коэффициентом потерь на трассе

$$L = L_0 + 10n \log(d),$$

где L_0 – потери на трассе на расстоянии 1 м между передатчиком и приемником, дБ; n – коэффициент потерь на трассе; d – расстояние между передатчиком и приемником, м.

Значения коэффициента n изменяются в зависимости от среды распространения, т.е. на коэффициент влияет наличие или отсутствие прямой видимости, тип помещения, планировка, объекты внутри помещения и из какого материала они состоят. В справочнике [2] рекомендуют использовать следующие значения: цеховое помещение, прямая видимость – $n = 1,2 - 2,5$; цеховое помещение, отсутствие прямой видимости – $n = 2,6 - 3,5$.

Модель с одним наклоном дает хорошие результаты использования для однородной среды распространения сигнала, однако в помещении, имеющее зоны с различными условиями распространения, применение данной модели может привести к ошибкам. Для данных целей следует использовать модель двойного наклона [2].

Модель логарифмически-нормального распределения (Log-normal shadowing model) предназначена для оценки среднего значения потерь мощности сигнала с гауссовским распределением:

$$L = L_0 + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X\sigma,$$

где L_0 – потери на трассе на расстоянии d_0 между передатчиком и приемником; d – расстояние между передатчиком и приемником; d_0 – расстояние, на котором сигнал не подвергается помехам (1 м); n – показатель потерь на трассе; $X\sigma$ – случайная величина с гауссовским (нормальным) распределением с нулевым средним (в дБ). Согласно [2, 3] вне помещения – $X\sigma = 10 - 13$ дБ; внутри жилых помещений – $X\sigma = 4 - 8$ дБ; внутри складских и цеховых помещений – $8 - 10$ дБ.

Для оценки эффективности использования существующих эмпирических моделей проведем их сравнение с натурным экспериментом.

Эксперимент проведен в цеховом помещении при влиянии различных, в том числе производственных источников помех, на передающий сигнал между двумя радиомодулями ZigBee (XbeeS2C компании DIGI). Для оценки уровня потери сигнала между двумя радиомодулями применялась программа X-CTU.

Два радиомодуля XbeeS2C располагались в прямой видимости, расстояние между радиомодулями менялось в диапазоне 1...80 м коридора шириной не более 3 м. Расположение радиомодулей представлено на рис. 1. Один радиомодуль Tx подсоединен к компьютеру для передачи сгенерированного сообщения и расположен на высоте двух метров и на расстоянии не менее двух метров от стен. Данная удаленность от металлических объектов была учтена для генерации сферической диаграммы направленности. Другой радиомодуль Rx – мобильный радиомодуль, отдалялся от радиомодуля Tx .



Рис. 1. Расположение радиомодулей

С изменением расстояний фиксировались значения уровня потери мощности сигнала (RSSI) в децибелах. Результаты исследования (рис. 2 и табл. 1) показали, что значение уровня потери сигнала на расстоянии 80 м в пределах прямой видимости механического цеха равно 86 дБм,

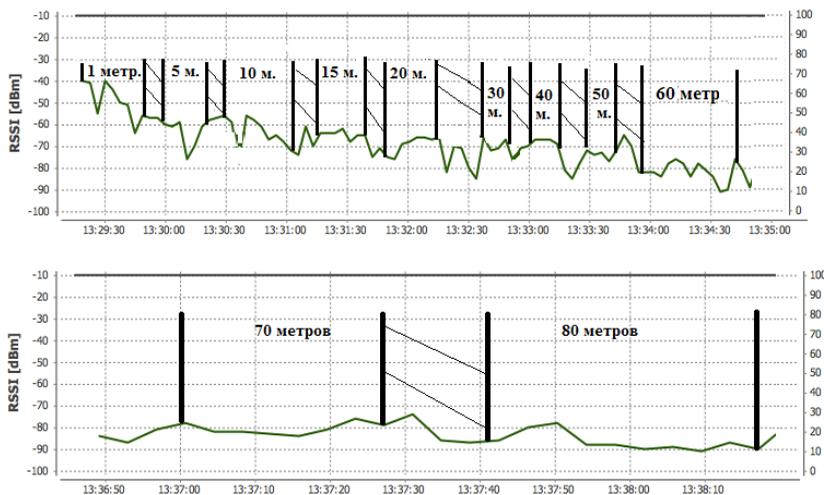


Рис. 2. Зависимость потери мощности сигнала от расстояния при условии распространения сигнала в механическом цехе

1. Усредненные значения сигнала от расстояния

Расстояние, м	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Потери мощно-сти сигнала, дБ	62	66	64	68	63	73	72	78	80	86

что является незначительным искажением передаваемого сигнала при чувствительности приемника ($-100 \dots -102$) дБм и коэффициенте ошибок 1%. Несмотря на присутствие металлических объектов в среде распространения сигнала, в проведенном эксперименте отсутствуют потерянные пакеты.

На рисунке 3 представлены результаты статистической обработки результатов экспериментальных исследований в виде линии регрессии $y = 50 + 16,5x$.

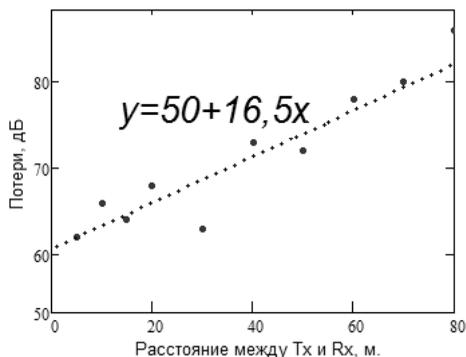


Рис. 3. Зависимость потерь на трассе от расстояния между двумя радиомодулями Xbee S2C

Коэффициент затенения определен с помощью критерия согласия хи-квадрат, как разница между средними значениями из табл. 1 и значениями, полученными с помощью уравнения линейной регрессии (рис. 3), с применением программы EasyFit. Коэффициент затенения с среднеквадратическим отклонением равен $\sigma = 3,39$.

На основе полученных экспериментальных данных в механическом цехе при прямой видимости двух радиомодулей получена следующая модель:

$$L = 50 + 1,65 \cdot 10 \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + 3,39,$$

в которой показатель степени потерь $n = 1,65$, что согласно [2] соответствует распространению сигнала с прямой видимостью.

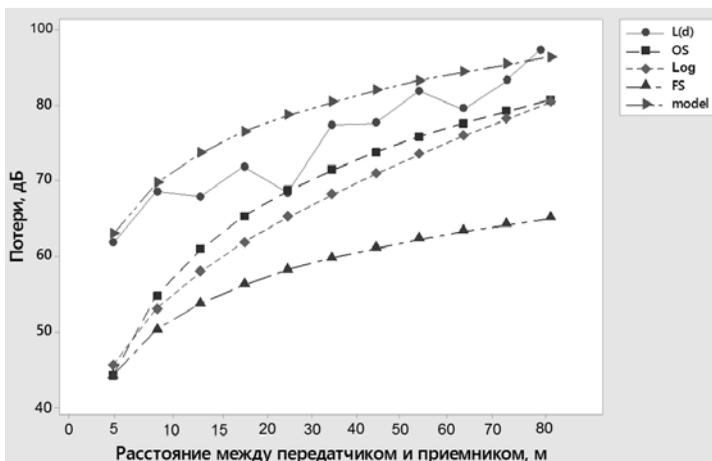


Рис. 4. Сравнение моделей распространения с экспериментальными

В работе проведено сравнение измеренных потерь на трассе с потерями, вычисленными с помощью эмпирических моделей, и с моделью, полученной в результате экспериментов.

Результат сравнения показал, что полученная модель прогнозирует потери лучше, чем эмпирические модели распространения сигнала внутри помещений.

Список литературы и источников

1. Молоковский, И. А. Анализ беспроводных технологий для условий распространения радиоволн в ограниченном пространстве промышленных предприятий / И. А. Молоковский, В. А. Прысь // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – Ростов н/Д : ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2015. – Ч. 1. – С. 205 – 209.
2. Варна, Р. С. Path Loss and Fading Characterization at 2.4 GHz for Indoor Scenario / Р. С. Варна, S. Joshi, N. Kothari // SYSTEM. – Т. 2. – URL : <https://pdfs.semanticscholar.org/f986/70cf1e2cfc08a6300b361673f7bcb5608d62.pdf> (дата обращения: 29.04.2019).
3. Баскаков, С. С. Исследование способов повышения эффективности маршрутизации по виртуальным координатам в беспроводных сенсорных сетях: учеб. пособие / С. С. Баскаков // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М. : Изд-во «Приборостроение», 2009.
4. Farahani, S. ZigBee Wireless Networks and Transceivers / S. Farahani. – Burlington, Mass.: Newnes/Elsevier, 2008, 1st edition. – URL :

<http://www.chiaraburatti.org/uploads/teaching/ZigBee-Libro.pdf> (дата обращения: 20.09.2019).

5. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its ynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.

6. Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.

Мальцев В. А., Пищулин А. В., Сиваш М. А., Журавлев Д. В.
Воронежский государственный технический университет
(г. Воронеж, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ БИОПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ НОСИМЫХ УСТРОЙСТВ, РАБОТАЮЩИХ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Аннотация. При проектировании информационно-телекоммуникационной системы контроля функционального состояния человека появилась необходимость в усилителе потенциалов, отвечающем заданным характеристикам. На основе анализа и исследования известных схмотехнических КМОП решений усилителя был разработан узкополосный КМОП, малошумящий усилитель биопотенциалов с включением транзистора с общим истоком и индуктивной отрицательной обратной связью, с низким коэффициентом шума и малой потребляемой мощностью. Приведена схема данного малошумящего усилителя, измерены ее основные характеристики и проведено моделирование в САПР Cadence Virtuoso. Представлены результаты моделирования в виде графиков с основными характеристиками. Представленный малошумящий усилитель, выполненный по субмикронной технологии, может быть использован как в медицинских системах регистрации биопотенциалов, так и в других современных радиоприемных устройствах.

Ключевые слова: регистрация биопотенциалов, МШУ, КМОП-технологии.

Введение. В приемном тракте регистрирующего устройства одним из первых блоков, в который подается сигнал, является малошумящий усилитель (МШУ). Малошумящий усилитель усиливает слабые

радиосигналы и должен обладать коэффициентом шума 1...3 дБ. Широкое использование КМОП-технологии для создания радиоприемных устройств приводит к необходимости совершенствования схемотехники малошумящих усилителей и адаптации схемотехнических решений для реализации по КМОП-технологии. В настоящее время коэффициент шума узкополосных МШУ составляет, как правило, 3 дБ при потребляемой мощности 4...20 мВт. Целью данной работы является разработка узкополосного интегрального КМОП МШУ биопотенциалов для носимых устройств, контролирующих функциональное состояние человека, с низким коэффициентом шума и оптимальным соотношением основных характеристик – линейные и нелинейные свойства, а также свойства устойчивости и потребляемая мощность.

Моделирование МШУ при помощи САПР Cadence Virtuoso.

Малошумящий усилитель биопотенциалов с индуктивной обратной связью показан на рис. 1. Коэффициент шума и общий шум частично уменьшаются при помощи использования конденсаторов соответствующего значения, подключенных параллельно с МОП-транзисторами МШУ. Это приводит к очень низкому уровню шума и очень низкому энергопотреблению.

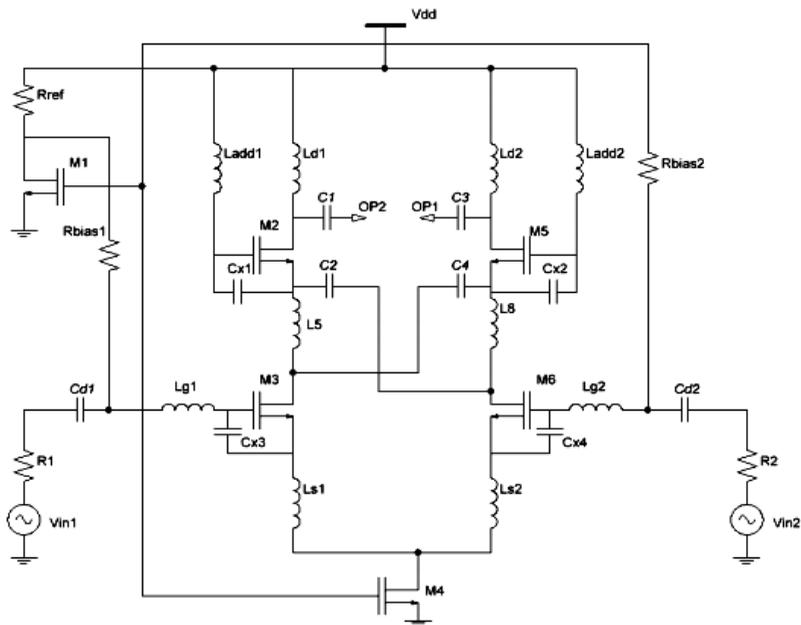


Рис. 1. Малошумящий усилитель с индуктивной обратной связью

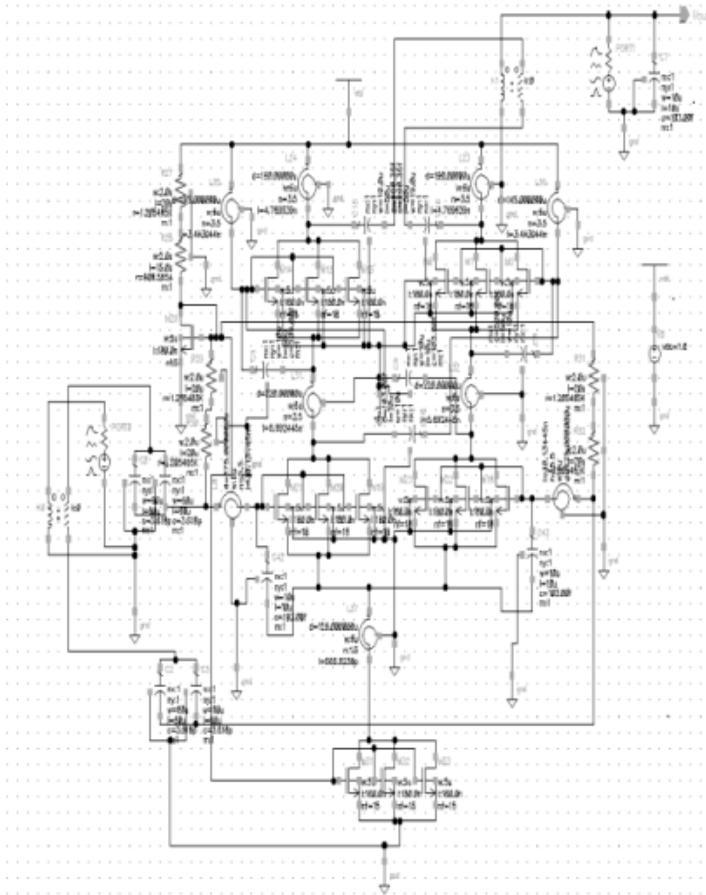


Рис. 2. Схема моделирования МШУ в САПР Cadence Virtuoso

Моделирование разработанной схемы проводилось при помощи САПР Cadence Virtuoso по технологии UMC 180 нм. Все элементы схемы взяты из библиотеки UMC_18_CMOS. Схема для моделирования параметров усилителя представлена на рис. 2.

Измерение основных характеристик схемы МШУ с индуктивной ООС. Коэффициент усиления по напряжению K_u измерялся на основе анализа переменного тока, как разница в децибелах между выходным и входным напряжением. На рисунке 3, а видно, что моделируемый усилитель имеет усиление около 16,95 дБ, что достаточно для усиления любых слабых сигналов.

Для того чтобы сгенерировать коэффициент шума МШУ, необходимо осуществить анализ S-параметров.

На рисунке 3, б можно увидеть, что дифференциальный малошумящий усилитель имеет усиление по мощности примерно 21,42 дБ.

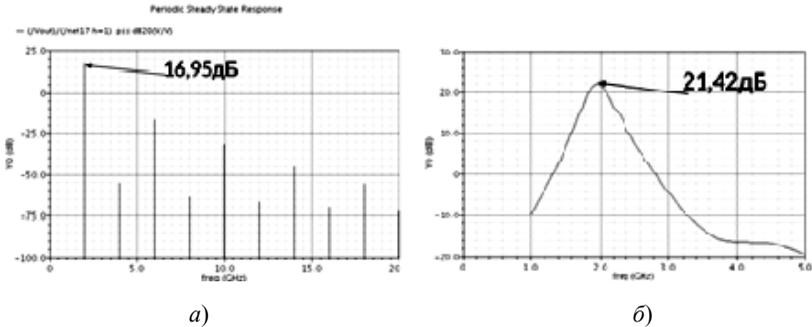


Рис. 3. Графики усиления:
a – по напряжению; *б* – по мощности

S_{11} – коэффициент отражения на входе, на рис. 4, *a* – параметр S_{11} при напряжении 1,8 В.

S_{22} – коэффициент отражения на выходе, в данной схеме он принимает значение – 28,11 дБ (рис. 4, *б*).

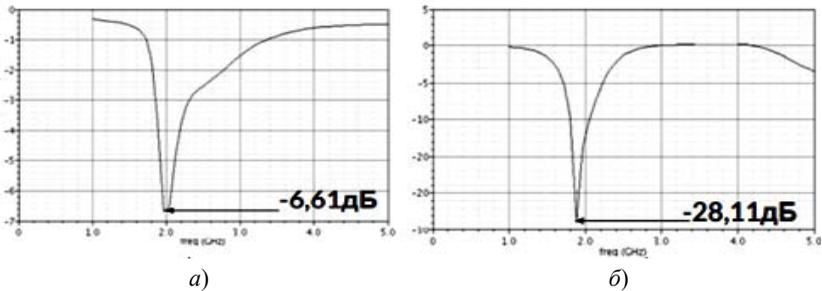


Рис. 4. Параметр S_{11} (*a*); параметр S_{22} (*б*)

Коэффициент шума описывает уменьшение соотношения «сигнал/шум» при прохождении сигнала через все приемное устройство или отдельный каскад. Рисунок 5 демонстрирует, что коэффициент шума ($N_{F_{min}}$) усилителя при напряжении питания 1,8 В приблизительно равен 2,05. Этот показатель ниже, чем у аналогичных узкополосных МШУ.

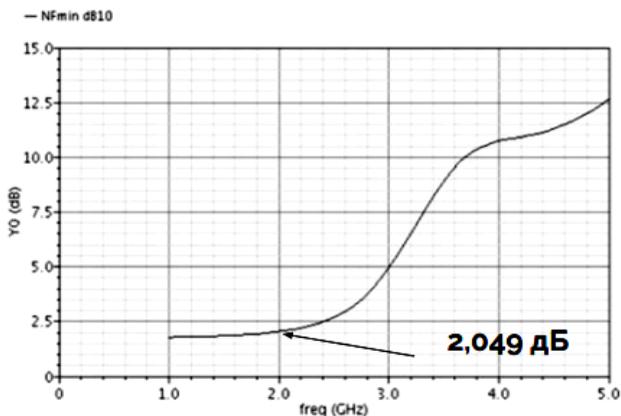


Рис. 5. График минимального шума (NF_{min})

Заключение. Усовершенствование технических реализаций отдельных аналоговых составных частей радиотехнических устройств медицинского назначения посредством введения элементов подавления помех с элементами автоматической перестройки эксплуатационных характеристик всего устройства открывает возможность создания новых радиотехнических устройств регистрации медико-биологических показателей для применения в системах дистанционного контроля. В результате проектирования был разработан мал шумящий усилитель, выполненный по субмикронной технологии, который превосходит аналогичные устройства, представленные на рынке. Была промоделирована работа МШУ, в результате которой были получены основные параметры усилителя, доказывающие преимущества данного МШУ.

Список литературы

1. Патент на полезную модель RUS 42944 21.06.2004. Портативное устройство контроля и регистрации биопотенциалов / Балашов Ю. С., Костин А. А., Журавлев Д. В., Бовкун А. С.
2. Журавлев, Д. В. Алгоритм синтеза приборов регистрации биопотенциалов / Д. В. Журавлев // Проектирование радиоэлектронных устройств и систем : межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж, 2004. – С. 197 – 204.
3. Балашов, Е. В. Микроэлектронные мал шумящие КМОП-усилители радиочастотного диапазона: применение, схемотехника, тенденции развития / Е. В. Балашов, А. С. Коротков // Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника. – 2007. – № 2. – 56 с.

Мещеряков И. В., Шарапов И. В.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ВЫБОРЕ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АНТЕНН ДЛЯ Wi-Fi-ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Статья посвящена выбору материала Wi-Fi-антенн с точки зрения влияния скин-эффекта, магнитного поля, удельной проводимости, электрохимической коррозии, механических свойств, экономических факторов.

Ключевые слова: антенна, материал, скин-эффект, проводимость, коррозия.

Применение Wi-Fi-технологии является актуальным направлением на сегодняшний день. Цель исследования заключается в выборе материала для изготовления антенн для Wi-Fi-оборудования. Для достижения цели необходимо поставить ряд задач: оценить влияние скин-эффекта, магнитного поля, удельной проводимости, электрохимической коррозии, механических свойств, экономических факторов на параметры антенны.

При выборе материала для антенны нужно учитывать сразу несколько факторов, влияющих в первую очередь на сопротивление омических (тепловых) потерь в проводах и элементах антенны. Так как антенна может работать на частотах вплоть до нескольких единиц ГГц, то стоит брать во внимание такой параметр, как скин-эффект. С ростом частоты в металлах проявляется скин-эффект, когда ток течет не во всем сечении проводника, а только в тонком поверхностном слое. За толщину скин-слоя принято брать расстояние от поверхности металла, на котором величина тока равна 0,37 от величины на поверхности. При этом сопротивление скин-слоя такой толщины на данной частоте равно его сопротивлению на постоянном токе. Толщина скин-слоя уменьшается с ростом частоты. При этом уже в ДМВ- (дециметровые волны) диапазоне она составляет единицы микрометров. Из этого следует вывод, что важно, из чего изготовлен поверхностный слой металла и не важен состав его середины.

Классификация по характеру взаимодействия с магнитным полем. Все материалы по магнитным свойствам делятся на ферромагнетики (Fe, Ni, Co), антиферромагнетики (Cr), парамагнетики (Al, Mg, W) и диамагнетики (Cu, Zn, Ag, Au, Sn, Pb). Исходя из формулы глубины скин-слоя,

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \mu_0 \mu_r f \sigma}}, \quad (1)$$

где δ – глубина скин-слоя, м; μ_0 – магнитная постоянная [$1,256637061 \times 10^{-6}$, Н/А⁻²]; μ_r – относительная магнитная проницаемость; f – частота, Гц; σ – удельная проводимость, См/м.

С ростом относительной магнитной проницаемости μ_r глубина скин-слоя будет уменьшаться. μ_r близка к единице у парамагнетиков и диамагнетиков, и начиная от сотни, у стали. Отсюда следует, что электропроводность на СВЧ у стали не менее чем в десять раз меньше, чем у того же алюминия. Исходя из этого, следует, что ферромагнетики не пригодны для изготовления антенн, но могут успешно использоваться совместно с покрытием другими металлами. К непригодным материалам можно отнести: углеродистую и нержавеющую сталь, хромированную сталь, никелированную медь, пассивированную солями хрома оцинкованную сталь. К подходящим материалам можно отнести: серебро, медь, золото, алюминий, латунь, оцинкованную сталь, дюралюминий, омедненную сталь, латунированную сталь, луженую сталь.

Благодаря скин-эффекту шероховатость поверхности провода увеличивает его сопротивление, так как увеличивается длина пути для ВЧ-тока. Под влиянием атмосферных воздействий провод обычно окисляется, его поверхность становится более шероховатой, и свойства антенны ухудшаются. При этом можно выделить несколько случаев.

Биметаллические провода с медным покрытием обычно со временем сильно окисляются, приобретая очень плохую поверхность, поэтому нуждаются в периодической полировке. Допустимо ошкуривание поверхности мелкой наждачной бумагой вдоль провода. Оцинкованная сталь, наоборот, со временем улучшает свои свойства и хорошо пригодна для долговременных конструкций. Алюминий и трубки из его сплавов (дюралюминий) – лучшие для пассивных и активных элементов, не требующих пайки. Поверхностная пленка окисла довольно прочна и надежно защищает металл от дальнейшего окисления. Однако дюралюминиевые сплавы нуждаются в дополнительной изоляции от агрессивной атмосферы путем покрытия лаком. Латунь по прочности, состоянию и стабильности поверхности, надежности пайки, можно использовать для любых элементов антенны. Недостаток – повышенная хрупкость на морозе. Часто в качестве материала для изготовления антенн используют медные или алюминиевые провода для электропроводки.

Классификация по удельной проводимости. Чем выше удельная проводимость σ , См/м или меньше обратная величина, удельное со-

противление ρ , Ом/м, тем меньше нагрев проводника и меньше потерь полезного сигнала в антенне. Из таблицы 1 видно, что наибольшая проводимость у таких металлов, как серебро, медь, золото и алюминий. Стоит отметить, что не для всех антенн данный параметр является важным и как-то улучшающим прием/передачу.

1. Удельное электрическое сопротивление металлов

Материал	Серебро	Медь	Золото	Алюминий	Цинк	Железо чистое	Олово	Сталь литая
Удельное Электрическое сопротивление, См/м	62 500 000	58 100 000	45 500 000	38 000 000	16 900 000	10 000 000	8 330 000	7 690 000

Классификация по электрохимической коррозии. При подключении кабеля к антенне и в месте контактов разных металлов возможна электрохимическая коррозия. Дело в том, что безопасно соединять между собой можно металлы, у которых электрохимический потенциал соединения не превышает 0,6 мВ. Соответственно, стоит избегать прямого соединения меди и алюминия, меди и цинка. Чтобы избежать электрохимической коррозии в этих гальванических парах, необходимо облуживать медь.

Так же стоит учитывать, какой металл будет разрушаться в первую очередь в гальванической паре, исходя из электрохимического ряда напряжений металлов (рис. 1). Более электроотрицательный металл будет разрушаться более ускоренными темпами, при этом защищая от коррозии менее электроотрицательный. Данное явление носит название – активная защита от коррозии катодным методом.

Лакокрасочное покрытие, хоть и способно защитить металл от окисления, однако со временем все же разрушается и нуждается в периодическом обновлении.



Рис. 1. Электрохимический ряд напряжений металлов

Классификация по механическим свойствам. По механическим свойствам, способности противостоять нагрузкам, например, весу птиц, в порядке уменьшения прочности металлы располагаются в следующем ряду: стальной биметаллический провод, жесткая латунь, дюралюминий, медь, алюминий.

Классификация по экономическим факторам. Хотя серебро и обладает наибольшей удельной проводимостью, а золото менее всех подвержено атмосферной коррозии, изготавливать антенны в промышленном масштабе или прототипы антенн из этих металлов экономически нецелесообразно. Более доступны в этом плане медь, алюминий и его сплавы.

В итоге, выбор материала для изготовления антенн Wi-Fi влияет на такие параметры антенны, как сопротивление омических потерь, которое, в свою очередь, влияет на КПД (коэффициент полезного действия) и коэффициент усиления.

Список литературы

1. Гончаренко, И. В. Антенны КВ и УКВ / И. В. Гончаренко. – М. : ИП РадиоСофт, 2018. – 774 с.

Мещеряков Ю. Ю., Смыкалов А. О., Кондусов В. А.
Воронежский государственный технический университет
(г. Воронеж, Россия)

Wi-Fi-ЯЧЕЙКА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»

Аннотация. Разработано программируемое устройство, которое коммутирует мощные нагрузки, собирает информацию с датчиков и управляется через приложение на ПК по Wi-Fi при помощи голосовых команд. Устройство предназначено для использования в системах умного дома.

Ключевые слова: беспроводное и голосовое управление.

Данное устройство является аналогом платы Arduino, но для умного дома. Модуль может осуществлять коммутацию мощных нагрузок, управлять и запитывать маломощные устройства, собирать информацию с датчиков и отправлять их в приложение на ПК. Для этого используются четыре реле, порты ввода-вывода, порты для питания других устройств на 3,3 В и 5 В, Wi-Fi-микроконтроллер ESP-12E. Принципиальная схема устройства показана на рис. 1.

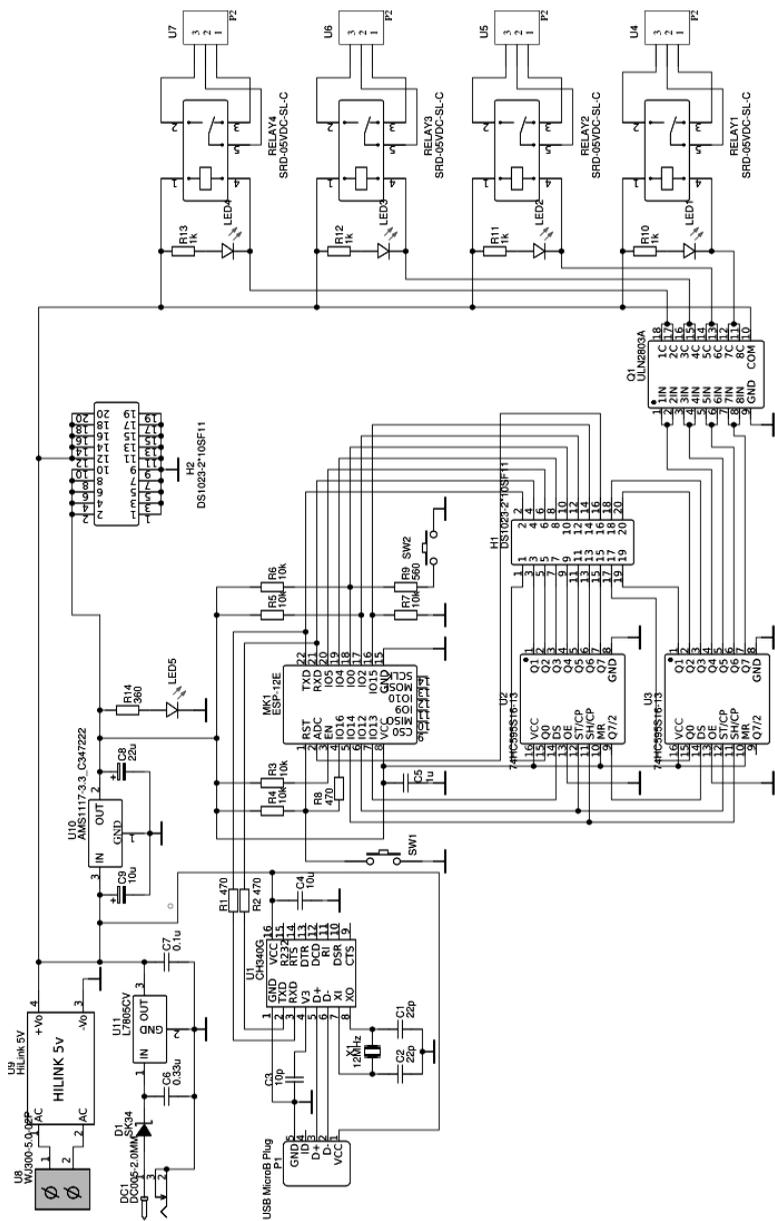


Рис. 1. Принципиальная схема устройства

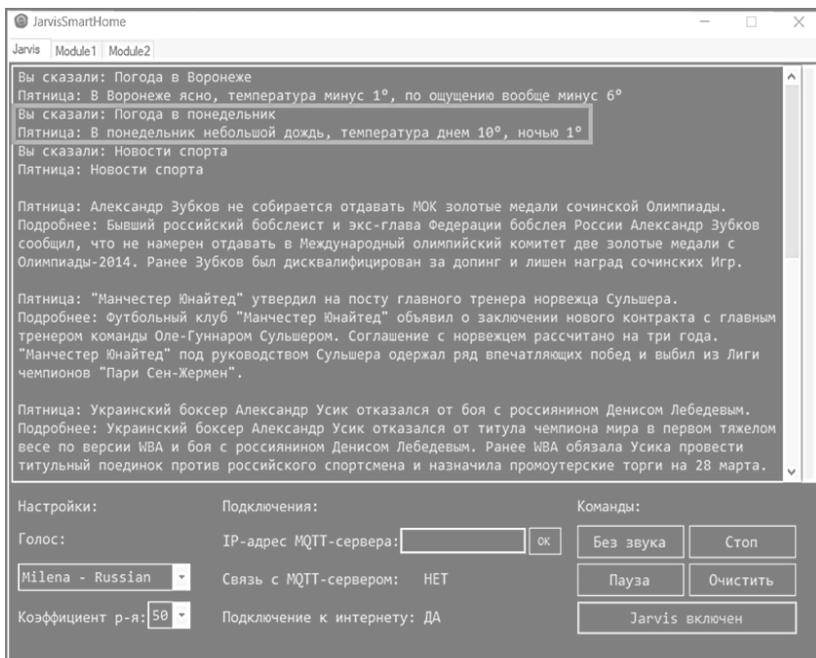


Рис. 2. Приложение Jarvis Smart Home

Для управления данным устройством (рис. 1) используется приложение Jarvis Smart Home на ПК, представленное на рис. 2.

Данная программа (рис. 2) осуществляет голосовое и беспроводное управление Wi-Fi-ячейкой (рис. 1). Приложение реагирует на несколько типов команд: погодные, новостные, переход на определенный сайт, управление реле, опрос датчиков в устройстве. Каждая распознанная команда выводится в текстовое поле приложения и проговаривается. Далее, в зависимости от команды, происходит поиск информации в Интернете, изменение настроек программы или отправка сообщения на устройство. Например, если мы скажем «Пятница погода в понедельник» или «Пятница новости спорта», приложение найдет в Интернете нужную нам информацию, выведет в текстовое поле (рис. 2) и проговорит ее. «Пятница» – имя для включения распознавания (имя голосового помощника).

Управление модулем осуществляется в другом окне программы (рис. 3).

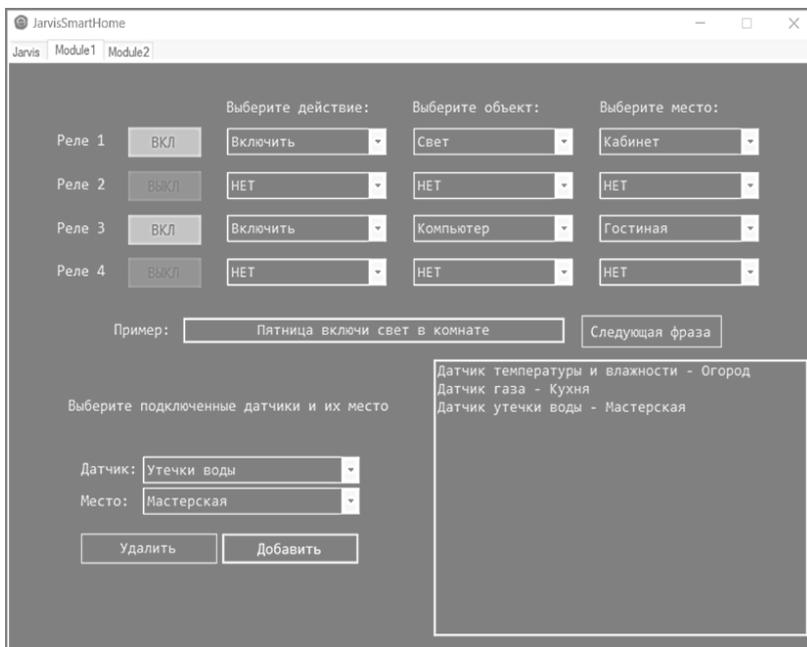


Рис. 3. Окно настройки распознавания

Управление устройством происходит при помощи голосовых команд или нажатием кнопок. В данном окне программы (рис. 3) выбирается фраза, по которой будет включаться и выключаться одно из четырех реле. Например, если для реле 1 выбрать фразу «включить-свет-кабинет», то программа будет распознавать команды «Пятница включи свет в кабинете» и «Пятница выключи свет в кабинете», по которой будет включаться и выключаться реле 1. Также можно добавить команды для датчиков, установленных на устройстве. Для этого достаточно выбрать датчик и его место. Например, в распознаватель добавится фраза «Пятница состояние датчика газа на кухне», «Пятница температура и влажность на огороде». Теперь при произношении команд реле или датчиков в модуль будет отсылаться управляющее сообщение по Wi-fi, с использованием протокола MQTT, которое наш модуль должен принять, произвести какие-то действия (включить или отключить реле, измерить температуру и так далее) и отослать фразу, которую проговорит программа Jarvis Smart Home. Пример фразы: «Температура на огороде 30 градусов Цель-

сия». Предполагается, что для одного помещения в доме будет использоваться одна Wi-Fi-ячейка.

Внешний вид платы Wi-Fi-ячейки представлен на рис. 4.

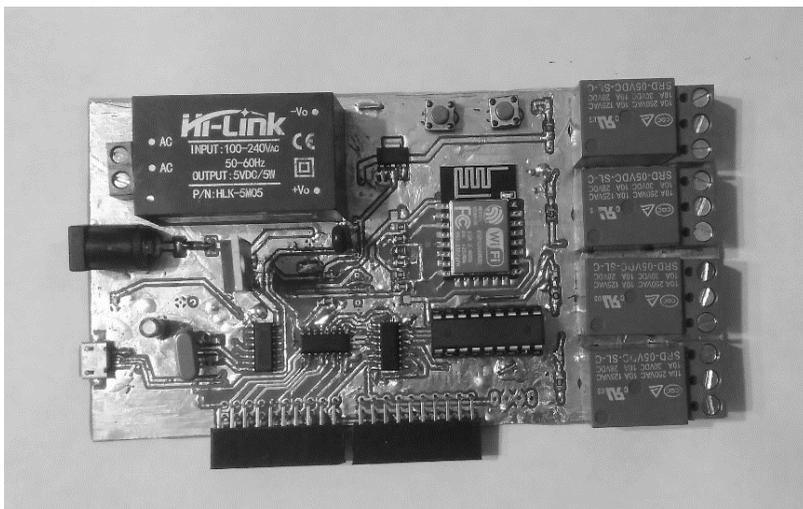


Рис. 4. Wi-Fi-ячейка

Плюсы устройства: программируется через Arduino IDE, подключение и запитка датчиков прямо от устройства, широкий диапазон питающего напряжения 7-12 В (DC) и 220 В (AC), беспроводное управление (MQTT + Wi-fi), коммутация мощных нагрузок (4 реле), голосовое управление, сбор информации в Интернете и с подключенных датчиков, голосовое оповещение по собранной информации, гибкость в выборе команд распознавания.

Список литературы и источников

1. Шварц Марко. «Интернет вещей» с ESP8266 / Марко Шварц ; пер. с англ. – СПб. : БХВ-Петербург, 2018.
2. Мельничук, О. В. – URL : <https://esp8266.ru> – сайт о микроконтроллере ESP8266 / О. В. Мельничук.
3. URL : <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/magazine/dn857362.aspx> – сайт с примерами по распознаванию речи в языке программирования C#.

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДАЛЬНОСТИ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
СО СЛУЧАЙНОЙ СТРУКТУРОЙ ПРИ ТРАЕКТОРНОЙ
ОБРАБОТКЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Аннотация. Предложен алгоритм функционирования измерителя дальности на основе моделей со случайной структурой. Обоснован выбор моделей состояния и наблюдения, проведено компьютерное моделирование и получены результаты моделирования алгоритма функционирования измерителя дальности.

Ключевые слова: измеритель дальности, модели со случайной скачкообразной структурой, модель состояния, модель наблюдения.

Актуальной задачей обработки информации является синтез оптимальных алгоритмов оценивания стохастических процессов со скачкообразно меняющейся в случайные моменты времени структурой. Алгоритмы сопровождения с учетом теории систем со случайной скачкообразной структурой позволяют проводить обработку информации с использованием нескольких моделей для совместной оценки фазовых координат воздушных судов [1, 2].

При синтезе радиоэлектронных средств автосопровождения воздушных объектов часто используется зингеровская модель состояния.

Трехмерная зингеровская модель состояния дальномерного канала в непрерывном виде представляет собой [2, 3]:

$$\dot{D}(t) = V(t), \quad D(0); \quad (1)$$

$$\dot{V}(t) = a(t), \quad V(0); \quad (2)$$

$$\dot{a}(t) = -\alpha a(t) + n_a(t), \quad a(0), \quad (3)$$

где D , V и a – дальность, скорость и ускорение воздушного судна по линии визирования; α – величина, обратная времени средней случайной эволюции воздушного судна; $n_a(t)$ – белый шум.

Используя преобразование Лапласа для (1) – (3), получим трехмерную модель состояния системы дальномерного канала в дискретном виде

$$D_1(k) = D_1(k-1) + V_1(k-1)\tau + 0,5a_1(k-1)\tau^2; \quad (4)$$

$$V_1(k) = V_1(k-1) + a_1(k-1)\tau; \quad (5)$$

$$a_1(k) = (1 - \alpha_\phi \tau) a_1(k-1) + \xi_a(k-1), \quad (6)$$

где α_ϕ – постоянная времени маневра; $\xi_a(k-1)$ – гауссовский шум с известной дисперсией D_a .

Двумерная модель состояния измерителя дальности в дискретном виде

$$D_2(k) = D_2(k-1) + V_2(k-1)\tau; \quad (7)$$

$$V_2(k) = (1 - \alpha_\phi \tau) V_2(k-1) + \xi_v(k-1). \quad (8)$$

Модель наблюдения системы измерителя дальности в дискретном виде

$$D_{\text{и}}(k) = D(k-1) + \xi_{\text{д}}(k-1)\tau, \quad (9)$$

где $\xi_{\text{д}}$ – шумы измерения; $D_{\text{и}}$ – измеренное значение дальности.

Используя модель состояния (4) – (6), модель наблюдения (9), и учитывая выражения калмановской фильтрации [2, 4], получен алгоритм функционирования первого фильтра для оценки дальности, скорости и ускорения по линии визирования:

$$D_o(k+1) = D_{\text{з1}}(k+1) + K_{y11}(k+1)\Delta D_1(k+1); \quad (10)$$

$$V_{o1}(k+1) = V_{\text{з1}}(k+1) + K_{y21}(k+1)\Delta V_1(k+1); \quad (11)$$

$$a_{o1}(k+1) = a_{\text{з}}(k+1) + K_{y31}(k+1)\Delta D_1(k+1); \quad (12)$$

$$D_{\text{з1}}(k+1) = D_{o1}(k) + V_{o1}(k)\tau + 0,5a_o(k)\tau^2; \quad (13)$$

$$V_{\text{з1}}(k+1) = V_{o1}(k) + a_o(k)\tau; \quad (14)$$

$$a_{\text{з}}(k+1) = (1 - \alpha_\phi \tau) a_o(k); \quad (15)$$

$$\Delta D_1(k+1) = D_u(k+1) - D_{\text{з1}}(k+1). \quad (16)$$

Таким же образом получен следующий алгоритм функционирования второго фильтра для оценки дальности и скорости:

$$D_{o2}(k+1) = D_{\text{з2}}(k+1) + K_{y11}(k+1)\Delta D_2(k+1); \quad (17)$$

$$V_{o2}(k+1) = V_{\text{з2}}(k+1) + K_{y21}(k+1)\Delta V_2(k+1); \quad (18)$$

$$D_{o2}(k+1) = D_{o2}(k) + V_{o2}(k)\tau; \quad (19)$$

$$V_{o2}(k+1) = (1 - \alpha_\phi \tau)V_{o2}(k); \quad (20)$$

$$\Delta D_2(k+1) = D_u(k+1) - D_{o2}(k+1). \quad (21)$$

Получаем модель системы для совместной оценки дальности воздушного судна по линии визирования со случайной скачкообразной структурой при использовании двух моделей

$$D_o(k) = \sum_{m=1}^2 W_m(k-1)D_{om}(k-1), \quad m=1,2, \quad (22)$$

где W_m – весовые коэффициенты оценок фильтрации 1 и 2 фильтров.

Получена зависимость дальности от времени при маневре воздушным судном «большая коробочка» (рис. 1).

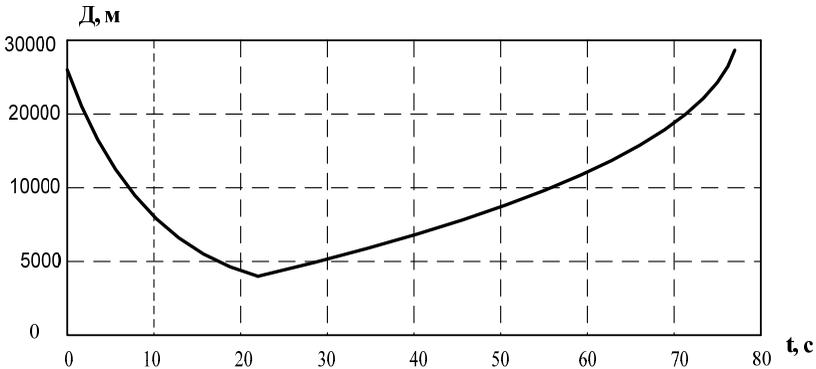


Рис. 1. Изменение дальности

Также было проведено имитационное моделирование: 1 – в дальномерном канале использовалась модель состояния (4) – (6) и алгоритм фильтрации (10) – (16); 2 – в дальномерном канале использовалась модель состояния (7), (8) и алгоритм фильтрации (17) – (21); 3 – в дальномерном канале использовался алгоритм совместной обработки двух фильтров (22). Результаты моделирования (зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) угла от времени) представлены на рис. 2.

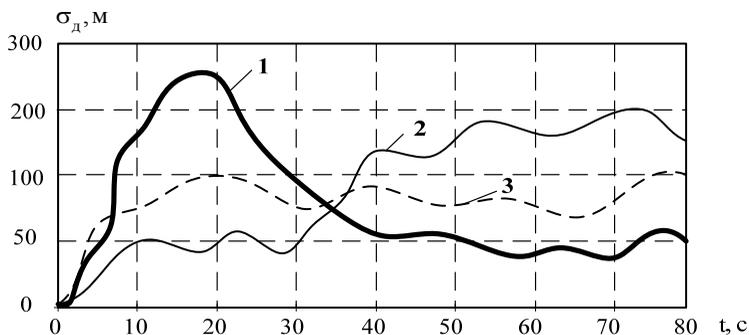


Рис. 2. Зависимости СКО дальности от времени

Таким образом, использование двух фильтров со случайной структурой измерителя дальности позволяет повысить точность траекторной обработки информации воздушных судов на всех этапах маневра «большая коробочка».

Список литературы

1. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters. – Journal of Physics : Conference Series / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111 (2018).
2. Панасюк, Ю. Н. Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах: учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
3. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
4. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – М., 2013. – № 9. – С 55 – 59.
5. Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ САЙТА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА НА ПРИМЕРЕ ПРОДАЖИ АППАРАТОВ ИВЛ

Аннотация. В настоящее время интернет-магазины имеют огромную популярность. Это обусловлено множеством причин, среди которых можно выделить широкий ассортимент и круглосуточную доступность. В данной статье рассматриваются особенности создания сайта интернет-магазина на примере магазина по продаже аппаратов искусственной вентиляции легких (ИВЛ).

Ключевые слова: сайт, интернет-магазин, медицинское оборудование, ИВЛ, продажа.

Актуальность интернет-магазинов обусловлена многими факторами.

Во-первых, в интернет-магазинах стоимость товаров ниже, чем в розничных магазинах. Более низкая стоимость товара в интернет-магазинах связана с меньшими затратами на содержание товара, в том числе, более низкие расходы на аренду помещений, заработанную плату сотрудникам.

Во-вторых, доступность интернет-магазина. При покупке товаров через интернет-магазин отсутствует необходимость ехать в другой город и есть возможность совершать покупки в любое удобное время. Тем самым покупатель за несколько кликов может приобрести товар, находясь за сотни и тысячи километров от продавца. Поэтому интернет-магазины имеют больший спрос, нежели привычные торговые площадки. Это относится и к рынку медицинского оборудования.

Для создания сайта интернет-магазина необходимо хорошо продумать его структуру. Структура сайта – это определенная система взаимного расположения веб-страниц и разделов, логичный способ их связи. От того, насколько она удобна, зависит непосредственное перемещение пользователя по сайту. При составлении структуры каталога, нужно руководствоваться строгой логикой, учитывающей специфику поиска в Интернете [1, 2].

Интернет-магазин по продаже аппаратов ИВЛ разработан в среде «wix.com» – это известная платформа для создания красивых и презентабельных сайтов, услугами которой пользуются миллионы пользователей по всему миру. Функционал Вика позволяет сделать свой сайт настолько уникальным, насколько это возможно, и при этом не требуется быть профи веб-мастеринга [3].

Следующим пунктом меню является непосредственно страница с каталогом продукции.

При наведении курсора указателя на любой аппарат, появляется кнопка быстрого просмотра. Нажав на нее, откроется окно, в котором можно увидеть стоимость, добавить в корзину или посмотреть подробную информацию о товаре.

Сайт должен иметь вкладки: «Оплата» – содержит информацию о способах оплаты, «Доставка» – информация о способах получения товара, «Сервис и ремонт» – о гарантийном и послегарантийном обслуживании и ремонте, что для медицинского оборудования является немаловажным аспектом, «Корзина» – содержит информацию о выбранных покупателем товарах.

Для удобства обратной связи с покупателями страница содержит вкладку «Отзывы и пожелания», благодаря которой продавец может улучшать свой сайт на основе отзывов покупателей. Для увеличения продаж магазины проводят различные акции и скидки на товары, все это должно быть отображено на сайте в отдельной вкладке.

Каждый покупатель хочет быть уверен в качестве покупаемого товара, поэтому сайт обязательно должен содержать вкладку с описанием условий гарантии на приобретаемый товар или услугу.

Таким образом, разработка сайта интернет-магазина имеет ряд серьезных проблем, с которыми сталкивается разработчик. Оформление сайта и грамотное добавление информации в него являются основным звеном в достижении эффективности в работе с информационным ресурсом. Сайт должен иметь понятный покупателю интерфейс.

Список литературы

1. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

2. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.

3. Фролова, Т. А. Разработка сайта интернет-магазина по продаже медицинских изделий : учебное пособие / Т. А. Фролова, М. А. Лядов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM), 2016.

**Мордасов С. А., Негуляева А. П.,
Чернышов А. В., Чернышов В. Н.**
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Предложена информационно-измерительная система неразрушающего контроля теплозащитных свойств многослойных конструкций, реализующая метод определения теплофизических характеристик (температуропроводности и теплопроводности) трехслойных конструкций.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, неразрушающий контроль, СВЧ-излучение, теплофизические характеристики.

В настоящее время в теплоэнергетике для уменьшения энергетических потерь применяют многослойные конструкции, в которых одни слои являются несущими, а другие – теплоизолирующими. Для определения их теплофизических свойств (ТФС) требуется знать теплофизические характеристики (ТФХ) каждого слоя, чтобы определить общие теплопотери и решить вопрос энергосбережения. Поэтому разработка методов и систем нахождения ТФС многослойных конструкций [1] является актуальной.

В данной статье предлагается информационно-измерительная система неразрушающего контроля теплозащитных свойств многослойных конструкций, реализующая следующий метод.

На поверхности исследуемой трехслойной конструкции осуществляют тепловое воздействие электромагнитным полем СВЧ-излучения. Вначале для определения ТФХ наружных слоев, имея информацию об их толщине, диэлектрической проницаемости материалов этих слоев и используя известное соотношение для определения ослабления мощности (потерь) в направлении распространения электромагнитной волны СВЧ-излучения в диэлектрике с потерями, определяют расчетным путем частоту электромагнитной волны СВЧ-диапазона, при которой тепловому воздействию будет подвергаться не более $2/3$ толщины каждого из наружных слоев конструкции. Нагрев наружных поверхностей исследуемого изделия осуществляют в течение заданного интервала времени τ_n . При этом электромагнитное излучение фокусируют рупорно-линзовой антенной в линию заданных размеров, осуществляя нагрев исследуемых наружных слоев по плоскости, перпендикулярной внешней поверхности пластины верхнего слоя. Затем измеряют избы-

точную температуру на поверхности каждого из наружных слоев в двух точках, находящихся соответственно на расстояниях x_1 и x_2 от линии электромагнитного СВЧ-воздействия, и используя полученную информацию о температурных измерениях и мощности СВЧ-воздействия по полученным математическим зависимостям [2], определяют ТФХ наружных слоев конструкции.

Для определения ТФХ внутреннего слоя вначале, имея информацию о диэлектрической проницаемости материалов наружных слоев и используя известное соотношение для определения ослабления мощности в направлении распространения электромагнитной волны СВЧ-излучения в диэлектрике с потерями, определяют расчетным путем частоту электромагнитной волны СВЧ-диапазона, при которой тепловому воздействию будет подвергаться не более 2...3 мм наружного слоя. Тепловое воздействие осуществляют через круговую область электромагнитным воздействием СВЧ-диапазона с найденной частотой. Затем измеряют бесконтактным датчиком температуру в центре круга микроволнового нагрева, а датчиком теплового потока измеряют тепловые потери с поверхности круга в окружающую среду. Подвод тепла осуществляют до тех пор, пока на противоположной стороне от теплового воздействия трехслойной конструкции появится тепловой поток. Потом измеряют датчиком теплового потока величину установившегося теплового потока и температуру в плоскости контакта поверхности исследуемого слоя и датчика теплового потока. Затем, используя измеренные значения температуры и теплового потока, пронизывающего все три слоя конструкции, а также ранее полученные значения ТФХ наружных слоев, при помощи математических зависимостей, описывающих перепад температур в каждом из трех слоев, определяют искомые ТФХ внутреннего слоя исследуемой конструкции [3]. Для реализации предложенного метода разработана микропроцессорная информационно-измерительная система (ИИС), схема которой представлена на рис. 1.

Основным блоком разработанной ИИС является микропроцессорный контроллер МПК, включающий в себя системный контроллер СК, процессор Пр, постоянное запоминающее устройство ПЗУ, оперативное запоминающее устройство ОЗУ, дешифратор адресов ДА, блок ввода-вывода БВВ, аналого-цифровой преобразователь АЦП, цифровой индикатор ЦИ и тактирующий генератор ТГ. Измерительная система имеет один канал, по которому поступает измерительная информация с зонда 1, зонда 2 и зонда 3.

Над поверхностью зонда 1 исследуемого объекта находится источник теплового воздействия СВЧ-диапазона, в центр круга направ-

лен бесконтактный датчик измерения температуры и датчик теплового потока. Выходы датчиков измерения температуры и теплового потока через специализированный прецизионный усилитель СПК и нормирующий прецизионный усилитель НПУ подключены к АЦП, выход которого соединен с блоком ввода-вывода БВВ. Излучающие антенны подключены к генератору СВЧ-излучения, который управляется сигналом с блока БВВ.

Источник теплового воздействия СВЧ-диапазона соединен с генератором СВЧ-излучения который управляется микропроцессорным контроллером МПК через блок ввода-вывода БВВ.

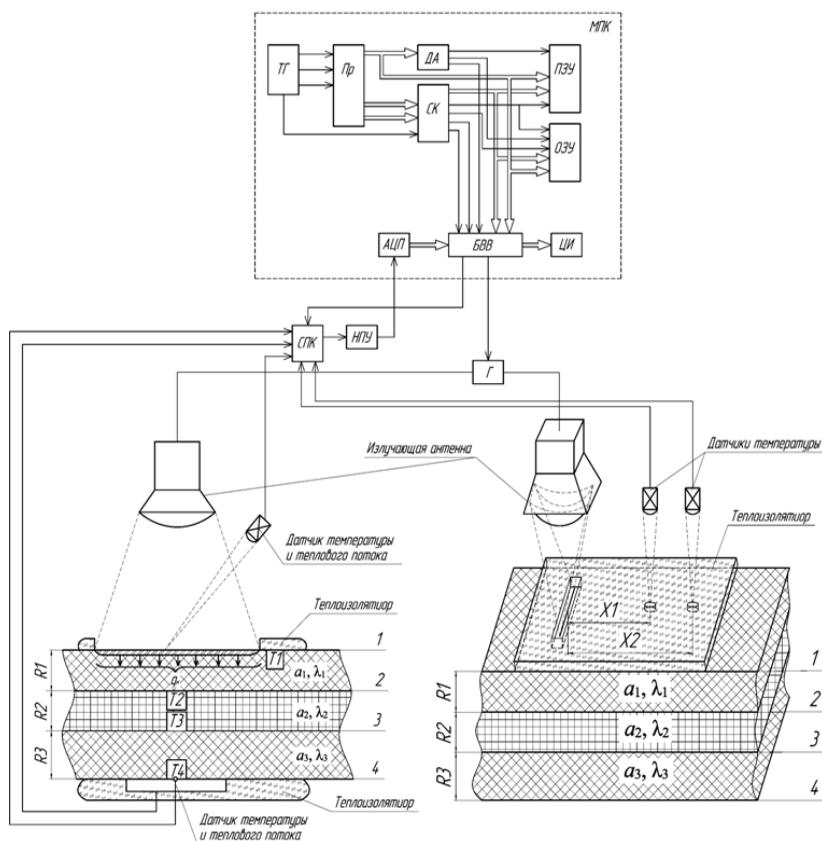


Рис. 1. Микропроцессорная система неразрушающего контроля ТФХ трехслойных конструкций

Преимуществом заявленной системы является нагрев электромагнитной энергией СВЧ-диапазона, исключая влияние собственной теплоемкости нагревателя, контактное термосопротивление между нагревателем и исследуемым объектом, степень прижатия нагревателя к объекту и шероховатость поверхности, что повышает ее точность. Кроме того, исключена возможность прогрева наружного слоя насквозь за счет прогрева исследуемого слоя на необходимую заранее рассчитанную глубину, таким образом, в нахождении ТФХ наружных слоев не будут принимать участия ТФХ внутреннего слоя, что также повышает точность предложенного метода.

Список литературы

1. Чернышова, Т. И. Методы и информационно-измерительные системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий. Научное издание : монография / Т. И. Чернышова, В. Н. Чернышов. – СПб. : Экспертные решения, 2016. – 384 с.
2. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков ; под ред. Е. С. Гридасова. – М. : Высш. шк., 1967. – 600 с.
3. Дульнев, Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре / Г. Н. Дульнев. – М. : Высш. шк., 1984. – 248 с.

Нечаев А. С., Стариков А. Ю., Кондусов В. А.
Воронежский государственный технический университет
(г. Воронеж, Россия)

СИНХРОННЫЕ И АСИНХРОННЫЕ СЧЕТЧИКИ С ЕСТЕСТВЕННЫМ И ПРОИЗВОЛЬНЫМ ПОРЯДКОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ КОДОВ

Аннотация. Проведен синтез синхронного и асинхронного счетчиков на D- и JK-триггерах с использованием метода диаграмм Вейча и реализовано практическое исполнение данной разработки в виде лабораторного устройства.

Ключевые слова: модуль счета, имитационное моделирование.

При проведении учебно-исследовательских работ по цифровой электронике в технических учебных заведениях в настоящее время в основном используется имитационное моделирование и совершенно недостаточно работ, выполняемых на «железе», что не способствует более глубокому усвоению материала и получению практических навыков, необходимых в дальнейшей работе по специальности. Представляемая разработка поможет учащимся более глубоко разобраться в заявленной теме и в связи с этим найдет спрос и применение в учебных заведениях, осуществляющих подготовку специалистов по цифровой электронике.

Для разработки суммирующего синхронного двоичного счетчика, работающего в коде 5-4-2-1 с модулем счета $K_{сч} = 12$, требуется $m = \lceil \log_2 12 \rceil = 4$ разряда. Синхронный счетчик функционирует на четырех разрядах, что соответствует формированию кодового слова на четырех выводах триггеров. В качестве метода синтеза был выбран метод диаграмм Вейча. Таблица функционирования синхронного счетчика представлена ниже.

Исходя из данной таблицы, сформируем диаграммы Вейча (рис. 1) и после составим уравнения входов (1-4) в минимизированной форме для выводов J- и K-микросхем DD2-DD5 (рис. 2).

Таблица функционирования синхронного счетчика с кодом 5-4-2-1

№	Q_4^n	Q_3^n	Q_2^n	Q_1^n	Q_4^{n+1}	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}
0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	1	0	0
4	0	1	0	0	1	0	0	0
5	1	0	0	0	1	0	0	1
6	1	0	0	1	1	0	1	0
7	1	0	1	0	1	0	1	1
8	1	0	1	1	1	1	0	0
9	1	1	0	0	1	1	0	1
10	1	1	0	1	1	1	1	0
11	1	1	1	0	0	0	0	0

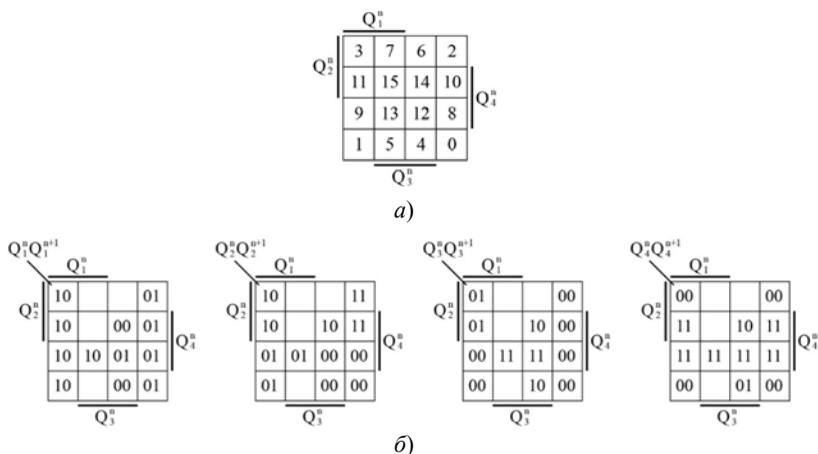


Рис. 1. Диаграммы Вейча:

a – контрольная; *б* – для разрядов счетчика

$$\begin{cases} J_1 = \overline{Q_4^n Q_2^n Q_3^n}; \\ K_1 = 1, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} J_2 = Q_1^n; \\ K_2 = \overline{Q_1^n Q_3^n}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} J_3 = Q_1^n Q_2^n; \\ K_3 = \overline{Q_4^n Q_2^n}, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} J_4 = Q_3^n; \\ K_4 = Q_2^n Q_3^n. \end{cases} \quad (4)$$

На основании уравнений входов разрабатываем схему синхронного счетчика (рис. 2).

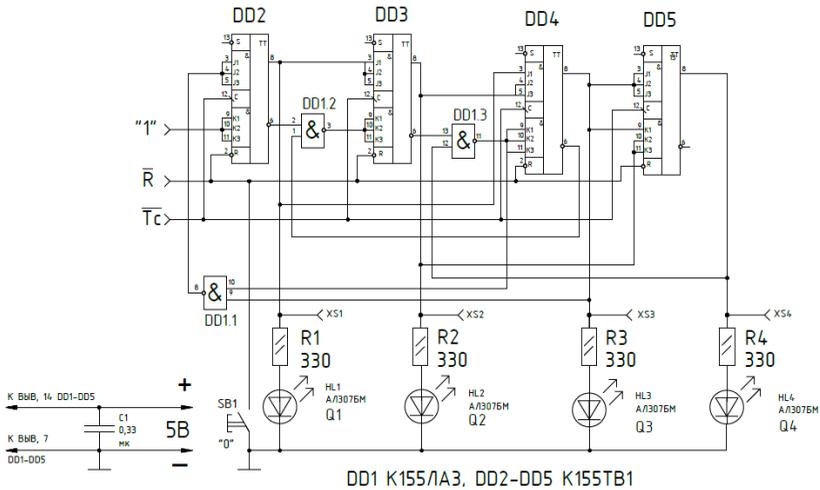


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема синхронного счетчика

По такому же принципу проведен синтез асинхронного счетчика, выполненного на микросхемах DD2-DD3 с необходимым дополнением в виде генератора одиночных импульсов с защитой от дребезга механических контактов, выполненного на DD1.1-DD1.2, и автогенератора на DD1.3-DD1.4 (рис. 3). На рисунке 4 приведены временные диаграммы работы смоделированного синхронного счетчика по уравнениям 1-4 в Electronic Workbench.

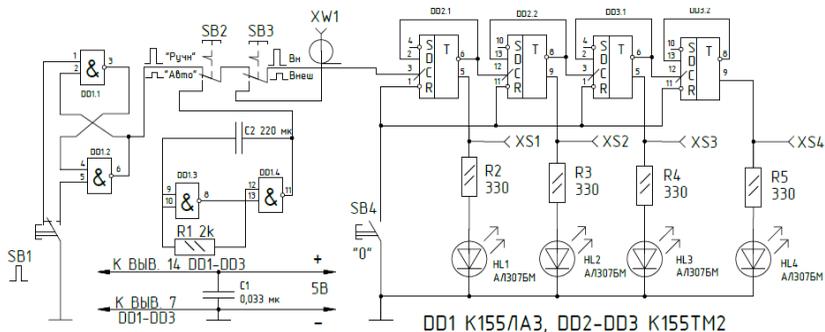


Рис. 3. Электрическая принципиальная схема автогенератора и асинхронного счетчика

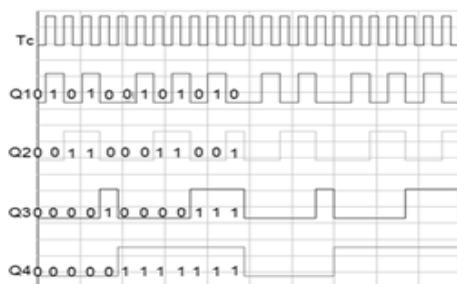


Рис. 4. Временные диаграммы

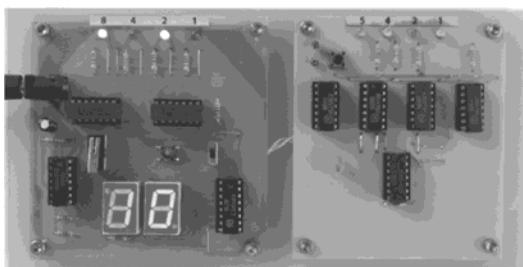


Рис. 5. Реализованное в «железе» лабораторная установка

Устройство (рис. 5) работает от автономного источника питания напряжением 5 В.

Список литературы

1. Новожилов, О. П. Основы цифровой техники : учеб. пособие / О. П. Новожилов. – М. : ИП РадиоСофт, 2004. – 528 с.

МЕТЕОСТАНЦИЯ

Аннотация. Разработано устройство, позволяющее собирать информацию об окружающей среде с различных датчиков, таких как: датчик температуры наружный и внутренний, датчик давления, датчик влажности.

Ключевые слова: датчики температуры, влажности, давления.

Разработанное устройство (рис. 1) позволяет пользователю оперативно собирать информацию об окружающей среде с различных датчиков, таких как: датчик наружной температуры, внутренний датчик температуры и давления, внутренний датчик температуры и влажности. Оно имеет малые габариты и эргономично расположенные элементы управления.

В качестве аппарата вывода информации используется OLED-дисплей с разрешением 128×64 пикселей (рис. 2).



Рис. 1. Метеостанция



Рис. 2. OLED-дисплей

Устройство позволяет при необходимости быстро измерять показания:

– о наружной температуре, с использованием емкостного датчика температуры ds18b20 (рис. 3). Находящийся внутри чип может выполнять аналого-цифровые преобразования и выдавать цифровой сигнал, который считывается посредством микроконтроллера. Диапазон измеряемой температуры $-55...+125$ °C с точностью $\pm 0,5$ °C;



Рис. 3. Датчик температуры



Рис. 4. Датчик температуры и давления

– о внутренней температуре и давлении с использованием датчика bme180 (рис. 4). Характеристики датчика таковы: диапазон измеряемых значений: 300...1100 гПа (от –500 м, от +9000 м над уровнем моря):

- напряжение питания: от 3,3 до 5 Вольт; сила тока: 5 мкА при скорости опроса 1 Герц;
- уровень шума: 0,06 гПа (0,5 м) в грубом режиме (ultra low power mode) и 0,02 гПа (0,17 м) в режиме максимального разрешения (advanced resolution mode);

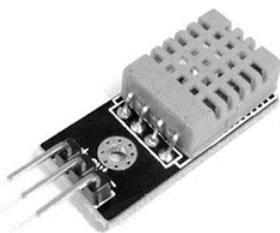


Рис. 5. Датчик влажности

– о внутренней влажности (рис. 5) с использованием датчика dht11:

- характеристики датчика: потребляемый ток – 2,5 мА (максимальное значение при преобразовании данных);
- измеряет влажность в диапазоне – 20...80%. Погрешность может составлять до 5%;
- применяется при измерении температуры в интервале 0...50 градусов (точность – 2%);
- габаритные размеры: 15,5 мм длина; 12 мм ширина; 5,5 мм высота;
- питание – от 3 до 5 Вольт;
- одно измерение в единицу времени (секунду). Следовательно, частота составляет 1 Гц;
- 4 коннектора. Между соседними – расстояние в 0,1”.

В качестве основы проекта использован модуль Arduino (рис. 6), включающий плату с микроконтроллером, снабженный минимально необходимым набором обвязки, включающей стабилизатор питания, кварцевый резонатор, цепочки сброса и др. Программная часть состоит из бесплатной программной оболочки (IDE) для написания программ, их компиляции и программирования аппаратуры. Arduino – совместимые платы, спроектированы таким образом, чтобы их можно было при необходимости расширять, добавляя в устройство новые компоненты.

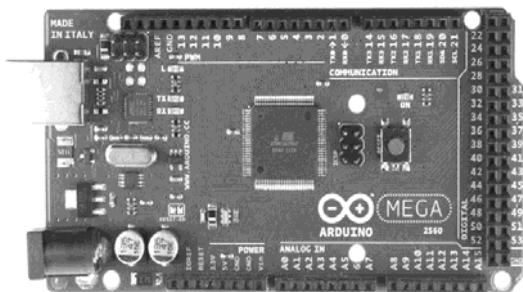


Рис. 6. Модуль Arduino

Информация удобно и наглядно считывается на дисплее (рис. 7). Слева температура, справа давление снизу и влажность сверху.

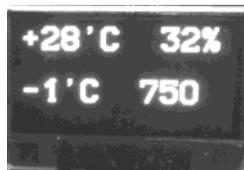


Рис. 7. Дисплей

Список литературы

1. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / У. Соммер ; пер. с нем. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2016. – 256 с.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90116

Протасова З. У., Шаталова О. В.
Юго-Западный государственный университет
(г. Курск, Россия)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ БИОМАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Рассматриваются вопросы построения систем нейросетевого управления экзоскелетом при реабилитационных мероприятиях с больными инсультом. В качестве медикобиологических сигналов используется электромиограмма.

Ключевые слова: биоимпеданс, частота зондирующего тока, фаза, напряжение.

Электропроводность биоматериала является важным фактором в прогнозе и диагностике многих социально-значимых заболеваний [1, 2].

Для определения параметров вектора комплексного сопротивления биоматериала можно либо вычислить его модуль и разность фаз между током и напряжением в биоматериале для линейки частот зондирующего тока, либо вычислить проекции комплексного вектора сопротивления – реальную и мнимую составляющие – на соответствующие оси. Для отображения полученных данных используются графики Коула [3, 4].

Как для первого, так и для второго случая представления биоимпеданса, необходимо определить разность фаз между реальной и мнимой составляющей параметров импеданса биообъекта (БО). Существуют два основных метода ее расчета. Наиболее простой из них основан на прямом нахождении сдвига фаз между напряжением и током на исследуемом импедансе, что приводит к необходимости определения экстремумов исследуемого сигнала. Идея метода представлена на рис. 1.

Вычислив точки экстремума на синусоидальных кривых (Θ_1 и Θ_2) и зная номера соответствующих отчетов и частоту дискретизации АЦП – $T_{\text{АЦП}}$, разность фаз между двумя реперными точками колебаний одной частоты можно рассчитать следующим образом:

$$\phi = \Delta t = (\Theta_1 - \Theta_2) T_{\text{АЦП}}. \quad (1)$$

Данный метод требует высокой точности вычисления координат ближайших экстремумов, которое сложно реализуемо на типовой технической базе.

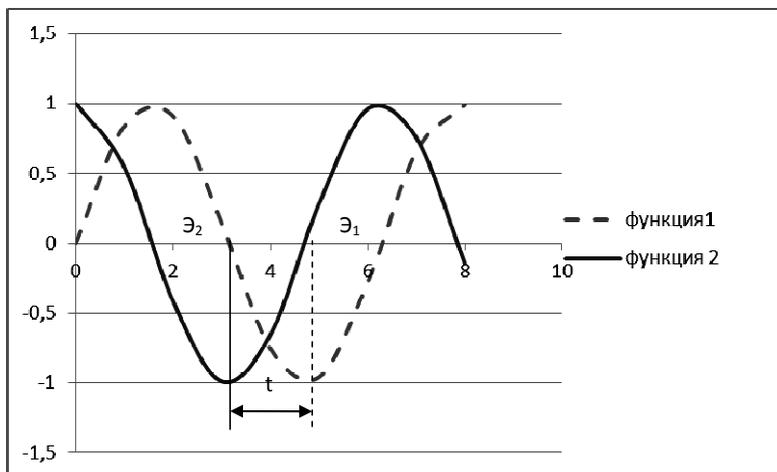


Рис. 1. Пример синусоидальных функций одинаковой частоты, сдвинутых относительно друг друга на время t

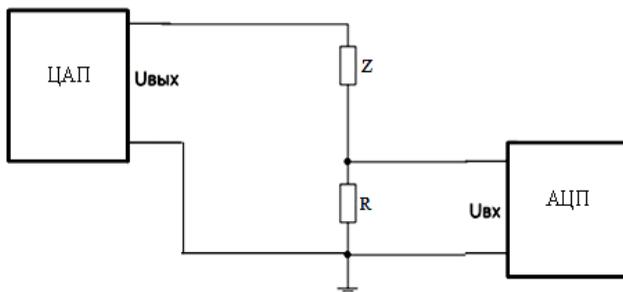


Рис. 2. Упрощенная схема измерения биоимпеданса

Второй метод предполагает определение реальной и мнимой составляющих напряжения и на их основе расчет разности фаз. На рисунке 2 представлена упрощенная схема измерения по этому методу.

Напряжение на резисторе R совпадает по фазе с током в БО (на рис. 2 БО обозначен как Z). Угол ϕ (сдвиг фаз) между напряжением на БО ($U_{\text{вых}} = U_{\text{ЦАП}}$) и током в БО I_R можно определить посредством проецирования напряжения $\dot{U}_R = \dot{U}_{\text{АЦП}}$ на ортогональные оси ($\sin\omega t$, $\cos\omega t$). Формула для расчета реальной части напряжения $\dot{U}_{\text{АЦП}}$:

$$U_{re} = \frac{\sum_{i=1}^N U_{\text{ЦАП}i} U_{\text{АЦП}i}}{N}, \quad (2)$$

где $U_{\text{АЦП}i}$ – отсчеты напряжения на токовом резисторе R в вольтах; $U_{\text{ЦАП}i}$ – отсчеты напряжения на биообъекте ($\sin(\omega t)$) в вольтах; N – количество отсчетов в выбранных для интегрирования периодах зондирующего напряжения.

Формула для расчета мнимой составляющей U_{im} имеет следующий вид:

$$U_{im} = \frac{\sum_{i=1}^N U_{\text{ЦАПсдвин}i} U_{\text{АЦП}i}}{N}, \quad (3)$$

где $U_{\text{ЦАПсдвин}i}$ – сдвинутое на четверть периода относительно выходного напряжения ЦАП ($\cos(\omega t)$) напряжение в вольтах.

Угол между модулем комплексного напряжения входного сигнала и его реальной составляющей:

$$\phi = \arctan\left(\frac{U_{im}}{U_{re}}\right). \quad (4)$$

Модуль комплексного вектора импеданса $|Z|$ согласно рис. 2

$$|Z| = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} R, \quad (5)$$

где $U_{\text{ВХ}}$ – входное напряжение; $U_{\text{ВЫХ}}$ – выходное напряжение; R – сопротивление измерительного резистора.

Для расчета реактивной составляющей биоимпеданса Z_{im} необходимо умножить синус разности фаз на модуль комплексного биоимпеданса:

$$Z_{im} = \sin(\phi) |Z|. \quad (6)$$

Активная составляющая Z_{re} определяется путем умножения $|Z|$ на косинус разности фаз.

Недостаток данного метода обусловлен необходимостью формировать квадратурные составляющие зондирующего напряжения, что требует наличия двух ЦАП. Экспериментальные исследования показали, что на основе выбранных технических средств проще реализовать два АЦП, чем два ЦАП.

Список литературы

1. Исследование проводимости биоматериалов в биоактивных точках при циклических воздействиях токами различной полярности / С. Е. Суржикова, Ю. Б. Мухатаев, О. В. Шаталова и др. // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2016. – Вып. 9. – С. 32 – 36.

2. Филист, С. А. Модели биоимпеданса при нелинейной вольт-амперной характеристике и обратимом пробое диэлектрической составляющей биоматериала / С. А. Филист, О. В. Шаталова, А. С. Богданов // Бюллетень сибирской медицины. – 2014. – Т. 13, № 4. – С. 129 – 135.

3. Филист, С. А. Биотехническая система для контроля импеданса биоматериалов в экспериментах *in vivo* / С. А. Филист, А. А. Кузьмин, М. Н. Кузьмина // Биомедицинская радиоэлектроника – 2014. – № 9. – С. 38 – 42.

4. Шаталова, О. В. Итерационная многопараметрическая модель биоимпеданса в экспериментах *in vivo* / О. И. Шаталова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т. 9, № 1(30). – С. 26 – 38.

СИСТЕМА ОПЦИОНАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Позиционирование элементов линий электропередач в настоящее время – одна из проблем, решение которой позволит выполнить динамическую базу данных для их контроля и обслуживания.

Ключевые слова: объект, опциональные, радиопеленгационный метод, скетч, передатчик.

Нахождение и контроль объектов без привязки к GPS и ГЛОНАСС является одной из важных задач при использовании современных цифровых технологий в энергетике. Большая протяженность линий электропередач как кабельных, так и воздушных, на территории РФ делает контроль за их состоянием многозадачной задачей, для решения которой одним из ключевых факторов необходимо считать точное позиционирование линий на местности с привязкой положения каждого элемента линии к всемирным или относительным координатам. Использование современных систем навигации существенно упрощает процесс позиционирования, однако вносит и ряд проблем, в частности, это стоимость работ по позиционированию линий, стоимость дополнительного оборудования и т.д. Нами для позиционирования предлагается использовать систему относительных координат, точкой отсчета в которой можно выбрать один из объектов энергопитающего предприятия. Основной целью нашей работы можно считать разработку программного комплекса, позволяющего в динамическом режиме отслеживать состояние линий электропередач, с глубиной архивации данных – 5 лет. Для разработки требуется решить вопрос с позиционированием ЛЭП.

Решение этой задачи возможно при помощи RFID-модуля с подачей кратковременного импульсного сигнала, зашифрованного определенным индивидуальным кодом или при помощи радиометки, размещенной на опорах линии. Рассмотрим основные методы определения ориентации объектов по сигналам, их достоинства и недостатки. Выделяют несколько основных методов определения ориентации объекта в пространстве (табл. 1).

В нашем случае будет использоваться радиопеленгационный метод. Радиопеленгация предполагает использование антенной системы с очень узкой, в общем случае веретенообразной, диаграммой направленности, установление слежения по направлению за источником

1. Методы ориентации объекта

Метод	Достоинства	Недостатки
Радиопеленгационный	Реальный масштаб времени, точность 0,01...0,1	Громоздкость и сложность аппаратуры, большие габариты приемных антенн
Измерением отношения сигнал/шум	Простота обработки информации; простая дешевая приемная аппаратура	Точность 3...10
На основе фазовых интерферометрических измерений	Точность 0,01...0,1	Необходимость решения задачи неоднозначности фазовых измерений (что приводит к определению параметров ориентации не в реальном масштабе времени); специальная дорогая приемная аппаратура; сложность использования на высокодинамичных объектах; требуется высокие затраты машинных ресурсов
Измерениями векторов линейных скоростей нескольких антенн, расположенных на объекте	Простая приемная аппаратура; возможность определения как углового положения объекта, так и угловых скоростей ПО	Сложность математической обработки информации; требуются высокие затраты машинных ресурсов; определение параметров ориентации происходит не в реальном масштабе времени
Использование доплеровского эффекта (частотный)	Возможность применения на высокодинамических объектах, возможность определения как углового положения объекта, так и угловых скоростей ПО	Специальная дорогая приемная аппаратура; сложность математической обработки информации; требуются высокие затраты машинных ресурсов

радиосигнала, размещенным на приемнике, и измерение углов между осью антенны и осями объекта. Антенна должна представлять собой параболоид или антенную решетку, обеспечивающие диаграмму направленности, шириной в единицы градусов, чтобы измерять углы с погрешностями порядка единиц минут. Антенны с приемлемыми геометрическими размерами (диаметр раскрыва от метра до нескольких десятков сантиметров) могут работать в диапазоне 10...15 ГГц. Недостатки этого метода в проекте системы опционального определения объектов (COOO) не имеют ценности, так как они описаны для спутниковых систем, а передатчик/приемник, используемый в проекте, работает на расстоянии около 2 км, что существенно снижает их влияние.

COOO базируется на сопряжение нескольких модулей Arduino по радиоканалу ISM-диапазона, используя радиомодуль nRF24L01+, на расстоянии до 1 км. Если использовать радиомодули NRF24L01+PA+LNA, то расстояние между Arduino можно увеличить до 2 км, не меняя код скетча. Рассмотрим преимущества и недостатки использования данного модуля.

Преимущества: отсутствие соединительных проводов между модулями Arduino; высокая скорость передачи данных, до 2 Мб/с, выше, чем у шин I2C и UART; полудуплексная связь; высокая помехозащищенность; контроль доставки данных; возможность выбора одного из 128 каналов связи; возможность одновременной работы до 6 передатчиков на одном канале.

Недостатки: модули nRF24L01+ работают в радиочастотном диапазоне ISM (Industrial, Scientific, Medical) 2,4 ГГц; при выборе скорости 2 Мб/с, задействуются сразу два канала (выбранный и следующий за ним); модули питаются от напряжения 3,3 В постоянного тока.

Скетчи обоих передатчиков идентичны, за исключением значения идентификатора трубы, которое должно быть уникальным для каждого передатчика, работающего на одном канале. Благодаря работе на одном канале данные модули имеют возможность передавать информацию друг другу, тем самым, как бы «общаясь» друг с другом. Именно данная функция позволит приемнику получать полные координаты обо всех объектах, на которых установлен передатчик, тем самым, строя графическую карту без привязки к спутникам (рис. 1).

Опциональность данной системы достигается благодаря тому, что Arduino являться аппаратной частью данного проекта и может использоваться для управления объектами автоматики, в перспективе

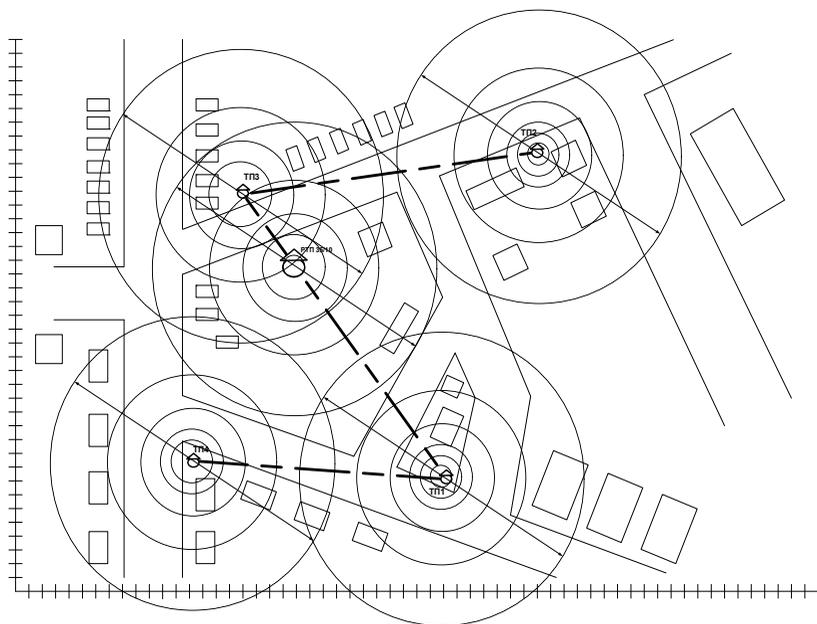


Рис. 1. Схема работы СООО

планируется установка тензометрических датчиков, пирометрических датчиков и др., что позволит контролировать не только состояние ЛЭП, но и окружающую обстановку.

Список литературы

1. Пороховцев, А. В. Методы определения параметров ориентации спутниковых навигационных систем / А. В. Прохорвцев // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 1. – С. 258 – 268
2. Болдин, В. А. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / В. А. Болдин. – изд. 2-е. – М. : ИПРЖР. – 1999. – 400 с.
3. Степанов, О. А. Исследование методов решения задачи ориентации с использованием спутниковых систем / О. А. Степанов, Д. А. Кошаев // Гироскопия и навигация. – 1999. – № 2. – С. 30 – 55
4. Мищенко, И. Н. Глобальная навигационная система NAVSTAR / И. Н. Мищенко и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1980. – № 8. – С. 52 – 83.

Работы выполнены при поддержке грантов РФФИ (проекты № 18-29-02036 «Разработка новых алгоритмов автоматического распознавания опасных нарушений сердечного ритма по поверхностной и инвазивной электрокардиограмме» и № 19-29-01009 «Интеллектуальные технологии для удаленного мониторинга состояния здоровья при профилактике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний»)

Рипка Д. С., Юлдашев З. М

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» (г. Санкт-Петербург, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРИСЕРДЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОГРАММ ПРИ НАРУШЕНИЯХ РИТМА СЕРДЦА

Аннотация. Представлены результаты исследований механизма распространения потенциала возбуждения по проводящим путям сердца, а также анализ временных и спектральных характеристик внутрисердечной электрограммы при нарушениях распространения потенциала возбуждения.

Ключевые слова: анализ, временные и спектральные характеристики внутрисердечной электрограммы, нарушения распространения потенциала возбуждения, нарушение сердечного ритма.

Проблемы выявления нарушений работы сердца являются актуальными, а одним из методов их определения является анализ поверхностных электрокардиограмм (ЭКГ) и внутрисердечных электрограмм (ВСЭГ). Часто отклонения в работе сердца связаны с изменением механизма распространения потенциала возбуждения по токопроводящим путям сердца. В таком случае нарушения могут быть невидимы на ЭКГ. Однако определение спектральных характеристик таких участков может значительно повысить энергоэффективность медицинских исследований и исключить необходимость проведения электрофизиологического исследования сердца.

Цель настоящей работы – формирование комплекса значимых показателей внутрисердечных электрограмм для описания опасных нарушений ритма сердца, исследование характера изменения их временных и спектральных характеристик при нарушениях ритма сердца.

Нарушения проводящих путей сердца, по которым распространяется потенциал возбуждения, появление источников электрического возбуждения на поверхности миокарда, изменение электрических характеристик миокарда и появление дополнительных проводящих путей приводят к изменению характера распространения потенциала возбуждения, а в итоге – к нарушениям сердечной деятельности, появ-

лению аритмий, фибрилляций и трепетаний предсердий и желудочков. При нарушениях распространения внутрисердечных потенциалов имеет место задержки или преждевременное появление их на интересующем участке проводящих путей, изменение формы и длительности.

Серьезную проблему представляют поздние потенциалы. Они имеют амплитуду меньше, чем потенциалы возбуждения, и задержку. Такие потенциалы невозможно выявить на поверхностной ЭКГ, но при этом они ярко выражены на некоторых отведениях ВСЭГ.

Для выявления механизма влияния потенциала возбуждения на нарушения сердечного ритма необходимо провести синхронные записи внутрисердечных электрограмм и поверхностных ЭКГ, выявить зоны нарушения проводимости, определить время задержки (преждевременного появления) электрограмм и их длительность, оценить изменение формы электрограмм на основе спектрального описания для различных случаев нарушения сердечного ритма.

Каждый участок с нарушением проводимости имеет свой собственный набор значимых показателей: амплитуду позднего потенциала, время задержки, скорость распространения. Данные нарушения являются периодическими, при этом, их частота не всегда совпадает с частотой потенциала возбуждения, так как имеет место процесс деполяризации и реполяризации импульсов.

Анализ ВСЭГ и поверхностных ЭКГ направлен на установление связи между ними, если таковая имеется. Однако ряд нарушений распространения потенциала возбуждения по проводящим путям сердца не отображается на поверхностной электрокардиограмме, хотя они заметны на внутрисердечных электрограммах. Существуют также нарушения работы сердца, которые проявляются на высоких частотах сердечных сокращений. Они легко распознаются по изменению формы внутрисердечных электрограмм, однако не всегда проявляются по поверхностной ЭКГ.

Сложность обработки ВСЭГ заключается в том, что электрод внутри сердца не зафиксирован. Точность полученного результата зависит от врача, осуществляющего управление катетером. Поэтому имеют место помехи, связанные с перемещением электрода, а также малая продолжительность сигнала. Эти факторы усложняют процесс фильтрации и возможность нахождения закономерностей изменения параметров ВСЭГ и поверхностной ЭКГ. Довольно часто помехи имеют схожую с внутрисердечными потенциалами форму, поэтому ошибочно принимаются за полезный сигнал, а не помеху. Учитывая индивидуальные особенности проводящих путей сердца, можно выявить некоторые закономерности изменения временных и спектральных характеристик ВСЭГ и поверхностной ЭКГ.

Нами получены синхронные записи внутрисердечных электрограмм и поверхностных ЭКГ для патологий, которые очевидны по изменению ВСЭГ, однако не распознаются по поверхностным ЭКГ. Проведенный анализ временных и спектральных характеристик показывает, что предсердные и желудочковые нарушения ритма сердца характеризуются своим набором значимых показателей. Они отражают изменение скорости распространения возбуждения, время деполяризации и реполяризации импульсов возбуждения в атриовентрикулярной области, появлением небольших участков кардиомиоцитов, блокирующих передачу возбуждения. В докладе приводятся анализ закономерностей изменения временных и спектральных характеристик ВСЭГ и поверхностной ЭКГ при нарушениях деятельности сердца, которые не выявляются по поверхностной ЭКГ. Рассматриваются примеры внутрисердечных электрограмм при нарушениях ритма сердца и обсуждаются их временные и спектральные характеристики.

Возникшие поздние потенциалы визуально невозможно определить на электрокардиограмме. Потому представляет интерес изучение спектральных характеристик синхронных записей ВСЭГ и ЭКГ на соответствующих участках. Таким образом, полученные результаты дают возможность определять нарушения в работе сердца, не прибегая к инвазивной диагностике, а анализируя поверхностную электрокардиограмму пациента.

Определение характеристик внутрисердечных электрограмм и поверхностных ЭКГ при различных нарушениях механизма прохождения потенциала возбуждения по проводящим путям сердца играет ключевую роль при диагностике сердца. Так, каждое заболевание имеет свои значения в наборе значимых показателей. Установив такие характеристики, можно говорить о возможности автоматического распознавания патологий.

Перспективным является выявление значимых показателей для опасных нарушений сердечного ритма и применение данной технологии для удаленного мониторинга состояния здоровья человека.

Возможность автоматического распознавания заболеваний сердечно-сосудистой системы значительно упрощает процесс диагностики и помогает врачу поставить точный диагноз за более короткий промежуток времени. Кроме того, такой анализ дает возможность повысить энергоэффективность клинических исследований, так как позволяет ограничиться лишь поверхностными ЭКГ, без ВСЭГ.

Подобные алгоритмы определения патологий, основанные на определении набора значимых характеристик отдельного заболевания, можно использовать при построении нейросетей, что даст возможность автоматически учитывать анатомические особенности каждого пациента.

Список литературы

1. Обработка синхронных записей поверхностной ЭКГ и внутрисердечных потенциалов для диагностики опасных нарушений сердечного ритма / З. Юлдашев, А. Немирко, Л. Манило и др. // Уральский Симпозиум по Биомедицинской Инженерии, Радиоэлектронике и Информационным Технологиям (УСБИРЭИТ) – Екатеринбург, 25–26 апреля 2019. DOI: 10.1109/USBREIT.2019.8736673
2. Выявление нарушений сердечного ритма с использованием поверхностной ЭКГ и инвазивной электрограммы / З. Юлдашев, А. Анисимов, А. Немирко и др. // Материалы конференции AIP. Объем 2140, 9 августа 2019. 14-я Российско-Немецкая Конференция по Биомедицинской Инженерии, РНК 2019; Санкт-Петербург, 3 – 6 июля 2019. DOI: 10.1063/1.5122005.

Ряшенцева А. Н., Михина А. В.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ПОЛОСОВАЯ ОБРАБОТКА МРТ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЦИФРОВЫМ И ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВЫМ СПОСОБАМИ

Аннотация. Рассмотрены примеры реализации и результаты обработки МРТ изображений цифровым и дискретно-аналоговыми способами.

Ключевые слова: МРТ-изображения, полосовой фильтр, матричные приборы с зарядовой связью, диагностика.

В настоящее время магнитно-резонансная томография является одним из наиболее применимых методов диагностики для визуализации внутренних структур организма.

Однако изображения, получаемые методом магнитно-резонансной томографии, подвержены большому количеству артефактов и шумов, которые затрудняют анализ зоны интереса. Сама зона интереса может быть подавлена за счет различных структур, на фоне которых зона интереса не будет легко различима и поддаваться анализу.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что в изображениях магнитно-резонансной томографии присутствуют шумы различного характера, что зачастую препятствует четкому выявлению зоны интереса. Введение фильтрации различных типов позволяет устранить этот

недостаток. Наличие разноразмерных объектов изображения диктует необходимость применения полосовой фильтрации.

Особенностью обработки МРТ-изображений заключается в том, что необходимо четко определить зону интереса, которую необходимо выделить. Поэтому при обработке изображений визуальное изображение может иметь искажения, однако зона интереса будет иметь важные детали, необходимые для диагностики.

Цифровая фильтрация изображения в данной работе основывалась на линейном сглаживающем фильтре. Цифровой сглаживающий фильтр представляет собой маску различной размерности, амплитудно-частотная характеристика которого характерна для фильтра низких частот. Применение такого типа фильтра происходит при необходимости фильтрации шумов.

Для реализации полосовой фильтрации на основе сглаживающего фильтра необходимо провести операцию свертки изображения по выбранной маске для исходного изображения. Причем, необходимо над одной копией исходного изображения провести одно количество итераций свертки, а над другой копией провести другое количество итераций, а затем провести вычитание одной копии изображения из другой. Таким образом, на одной из копий с помощью фильтра нижних частот мы проводим фильтрацию одного диапазона частот, а на другой копии – другого большего диапазона. В результате вычитания мы получаем необходимую нам полосу пропускания фильтра.

Затруднение состоит в том, что с каждой итерацией мы уменьшаем изображение на определенное число пикселей, которое определяется размерностью маски. Таким образом, если нам необходимо провести большое количество итераций над одной из копий изображения, то мы либо сталкиваемся с проблемой потери информации, либо с проблемой увеличения изображения за счет создания пустот – пикселей, не несущих информацию, но необходимых для грамотной обработки.

Дискретно-аналоговая обработка в работе основывалась на применении матричных приборов с зарядовой связью. Применение режима инверсии фазных состояний МПЗС дает возможность обмена зарядовыми пакетами между ячейками, что приводит в расфокусировке изображения.

Процедура расфокусировки посредством инверсии фазовых состояний представляет собой реализацию фильтра нижних частот (ФНЧ). Для реализации полосовой фильтрации нам необходимо три матрицы ПЗС, две из которых используются для одновременной обработки посредством применения режима инверсии фазных состояний

разной степени, а третья – для получения результата. В двух матрицах ПЗС будут находиться копии изображений, расфокусированных с разной степенью. Эти изображения будут подаваться на входы вычитающего устройства. На третью матрицу ПЗС будет поступать построчно изображение с выхода вычитающего устройства. В результате различного количества инверсий и вычитания первого и второго изображений друг из друга будет формироваться необходимая полоса пропускания фильтра.

В результате мы разработали функциональную схему устройства для дискретно-аналоговой обработки изображений на основе матричных ПЗС (рис. 1).

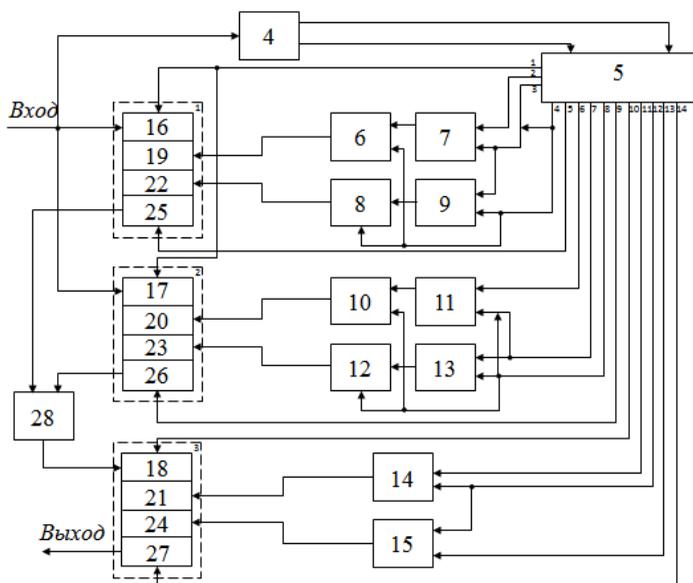
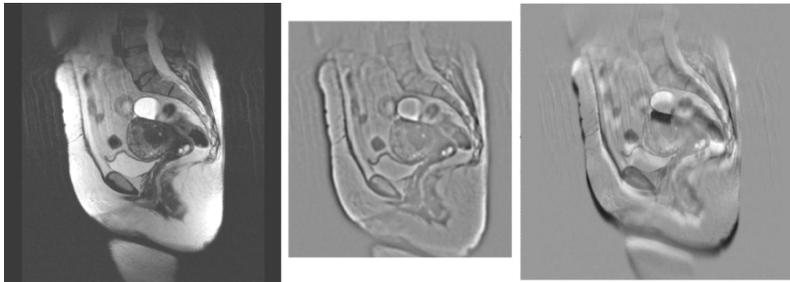


Рис. 1. Функциональная схема

На рисунке 2 представлены результаты обработки МРТ-изображений.

Оба метода выполняют задачу полосовой фильтрации – выделение среднеразмерных структур. Рельефы структур становятся более явными и визуально воспринимаются лучше, чем на исходном изображении. Это происходит за счет подавления высоких и низких частот, происходит выделение необходимого диапазона частот.



а) б) в)

Рис. 2. Результат полосовой фильтрации:

а – исходное изображение; *б* – результат цифровой обработки;
в – результат аналогово-дискретной обработки

Однако при аналогово-цифровой обработке контуры структур проявляются более четко, нет общего размытия изображения. Изображение визуально выглядит качественнее. Рельеф структур выделен лучше, что упрощает анализ зоны интереса. Стоит также отметить, что четко проявленные артефакты на исходном изображении при обработке с помощью матричных ПЗС подавлены лучше.

Явным недостатком цифрового метода полосовой фильтрации на основе сглаживающего линейного фильтра является уменьшение размеров изображения, что в некоторых случаях может привести к потере значимой диагностической информации. Усложнение реализации такого метода заключается в увеличении размеров изображения для исключения потери информации.

Сравнительный анализ изображений, полученных обоими методами, показал, что свои преимущества имеет каждый метод, благодаря чему можно утверждать, что совместное использование этих методов повысит информативность.

Список литературы и источников

1. Пат. 2305320 Российская Федерация. МПК G 06 Т 3/00. Способ формирования матричного изображения объекта / Бендицкий А. А.; заявитель и патентообладатель Бендицкий Алексей Александрович. – № 2004120046/09 ; заявл. 02.07.2004 ; опубл. 27.08.2007.

2. Ветров, А. Н. Совмещение изображений посредством матричных приборов с зарядовой связью / А. Н. Ветров, И. Ю. Артюхин, В. Ю. Ошурков, М. А. Гахзар // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 18, № 4. – С. 1477 – 1480.

Сарычев Р. А., Сторожев Д. А., Панасюк Ю. Н.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИЗМЕРИТЕЛЬ КООРДИНАТ ВОЗДУШНОГО СУДНА В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Аннотация. Рассмотрен вопрос актуальности использования автоматизированных систем управления воздушным движением, а также основные маневры в районе аэродрома, разработана структурная схема используемого измерителя координат воздушного судна.

Ключевые слова: воздушное судно, АСУВД, измеритель, координаты, маневр.

Основными средствами обеспечения диспетчерского состава служб управления воздушным движением (УВД) оперативной динамической информацией о местоположении воздушного судна (ВС) в любой момент времени, независимо от метеорологических условий, являются радиолокационные станции (РЛС) [1, 2]. Управление воздушным движением осуществляется за счет применения специальных автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД).

Автоматизированные системы управления воздушным движением в последние годы претерпели довольно значительные изменения. Одним из главных изменений является прогнозирование траектории полета ВС. Но для успешного выполнения различных маневров ВС недостаточно лишь прогнозирования траектории, важно также проводить оптимальную оценку прогноза. Поэтому важно, чтобы РЛС обладала хорошей, с точки зрения точности, измерительной системой.

В районе аэродрома можно выделить следующие типовые маневры [2]:

- большая коробочка;
- малая коробочка.

Маневр «большая коробочка» выполняется согласно схеме, показанной на рис. 1.

Как только летчик получает разрешение зайти на посадку, то с помощью радиокompаса он переводит самолет на дальнюю приводную радиостанцию (ДПРМ). Снижение выполняется так, чтобы в момент прохода дальнего приводного радиомаяка самолет должен оказаться на высоте 300 м. Далее самолет устанавливается па-

параллельный посадочному курсу и в течение 1–1,5 мин продолжает полет по этому курсу. Спустя это время выполняется первый разворот самолета на 90° влево, в случае, если на аэродроме принят левый курс. Второй и третий разворот выполняются при курсовом угле радиостанции (КУР), равном 240° . Четвертый разворот – при КУР, равном 290° .

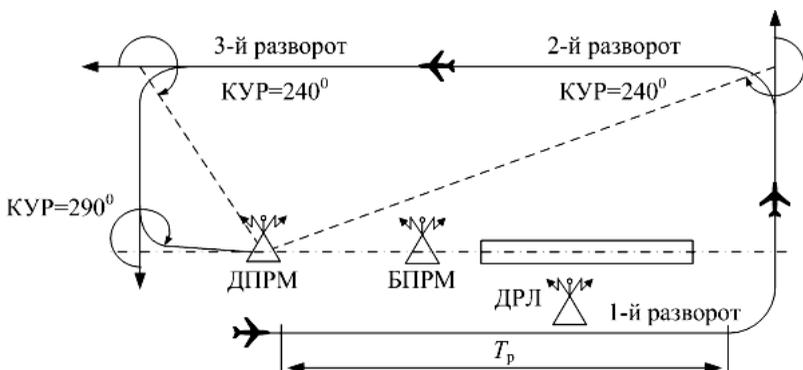


Рис. 1. Схема построения маневра «большая коробочка»

В случае, если принят правый круг, второй и третий развороты вправо на 90° начинаются при КУР, равном 120° , а четвертый разворот при КУР, равном 70° . Далее выполняется четвертый разворот и производится выход на посадочный курс. Самолет переводится в режим планирования с расчетом, что он пройдет ДПРМ на высоте 200 м, а ближнюю приводную станцию (БПРМ) на высоте от 50 до 70 м. Как только самолет проходит БПРМ и выходит из облаков, должна визуально просматриваться взлетно-посадочная полоса, а дальше посадка осуществляется уже визуально.

В отличие от «большой коробочки», при построении маневра «малая коробочка» самолет после пролета ДПРМ устанавливается на курс, перпендикулярный посадочному. Далее самолет движется этим курсом в течение одной минуты. После истечения этого времени самолет разворачивается на 90° и устанавливается на курс, обратный посадочному. В дальнейшем полет совершается в соответствии с методикой, принятой при выполнении маневра «большая коробочка».

Схема выполнения маневра «малая коробочка» показана на рис. 2.

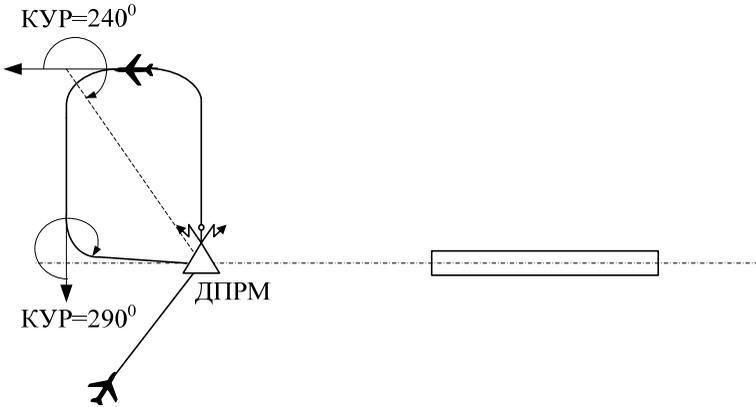


Рис. 2. Схема построения маневра «малая коробочка»

Для успешного выполнения рассмотренных маневров предлагается использовать измеритель координат, рассматриваемый в данной работе. Структурная схема измерителя представлена на рис. 3.

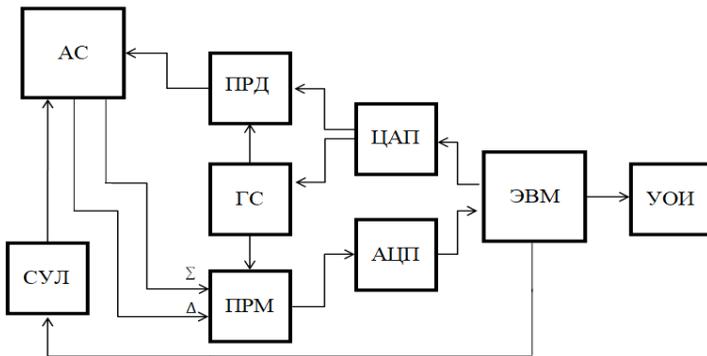


Рис. 3. Структурная схема измерителя координат в автоматизированных системах управления воздушным движением

Для того, чтобы управлять всеми элементами измерителя координат и обрабатывать информацию в системе, присутствует ЭВМ. В ЭВМ происходит формирование команд, которые через цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) управляют мощностью и частотой сигнала и воздействуют на генератор сигнала (ГС) и передатчик (ПРД).

С помощью антенной системы (АС) сформированный сигнал излучается в пространство, система управления лучом (СУЛ) управляет диаграммой направленности АС. Отраженный сигнал принимается антенной и поступает на приемник (ПРМ). Задающий генератор сигналов для ПРД служит гетеродином для ПРМ. На аналого-цифровой преобразователь (АЦП) поступает принятый сигнал, после чего он отправляется в ЭВМ для обработки. На устройство отображения информации (УОИ) поступает уже обработанная информация.

Производить фильтрацию полученных измерений предполагается с помощью фильтра Калмана, обладающего следующими достоинствами [3, 4]:

- оптимальные фильтры имеют удобное для реализации на электронно-вычислительной машине представление в виде рекуррентных соотношений, что сокращает при этом объем вычислений, а также повышает точность;

- данные измерений обрабатываются в реальном времени.

Таким образом, проведенный анализ условий применения АС УВД позволяет выбрать структурную схему измерителя координат воздушного судна, в которой используются оптимальные калмановские фильтры сопровождения воздушных судов.

Список литературы

1. Панасюк, Ю. Н. Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах: учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.

2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters. – Journal of Physics : Conference Series / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin. – 2018. – Vol. 1015, Is. 3, article id. 032111.

4. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics : Conference Series / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin. – 2018. – Vol. 1015, Is. 3, article id. 032112.

*Работа выполнена при финансовой поддержке
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
(Соглашение № 075-15-2019-1834 от 02 декабря 2019 г.,
уникальный идентификатор проекта RFMEFI60419X0250)*

Соколовский А. А.^{1,2}, Земцов А. И.³

¹Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. В. А. Котельникова РАН (г. Москва, Россия),

²ООО «Научно-Производственный Центр Профотек»
(г. Москва, Россия),

³Самарский государственный технический университет в г. Сызрани
(г. Сызрань, Россия)

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ

Аннотация. Рассмотрена возможность создания гибридного волоконно-оптического датчика температуры для применения в высоковольтных системах. Предложены структурные схемы волоконно-оптического датчика температуры на основе фотовольтаических преобразователей, выполненных на светодиодах.

Ключевые слова: оптическое излучение, светодиод, фотовольтаический преобразователь, повышающие преобразователи напряжения, датчик температуры.

Достаточно часто в высоковольтной энергетике возникает задача контроля температуры и других параметров элементов и устройств, находящихся под высоким потенциалом. Одним из возможных и недорогих вариантов решения этой задачи состоит в применении гибридных оптоэлектронных датчиков [1]. При построении таких систем приходится в первую очередь решать две задачи: обеспечить эффективное преобразование оптического излучения в электрическую мощность и обеспечить минимально возможное энергопотребление измерительного модуля.

Первая из этих задач может решаться применением фотовольтаических конвертеров, выпускаемых целым рядом фирм. Существенный недостаток большинства конвертеров состоит в высокой стоимости, которая доходит до 500 – 600 \$. Один этот факт во многих случаях делает нерентабельным построение гибридной системы.

Задачу питания электронных устройств оптическим излучением можно решить простыми и недорогими способами с помощью общедоступных компонентов.

Снижение энергопотребления измерительного модуля достигается, в первую очередь, применением микромощных электронных компонентов и выбором рационального способа кодирования измерительной информации для передачи ее по оптическому каналу.

Не рассматривая широко проблему микроэлектронных датчиков, которые могут применяться в гибридных измерительных системах, остановимся на датчиках температуры. Практически все ведущие фирмы, производящие электронные компоненты, выпускают цифровые датчики температуры, однако, как правило, они предназначены для работы с микропроцессорами и имеют формат выходного сигнала I2C, SPI, которые не очень подходят для удаленного расположения сенсора и требуют внешнего генератора тактовых импульсов, что усложняет схему измерительного модуля.

Наиболее приемлемыми для гибридных измерительных систем являются датчики температуры с ШИМ выходным сигналом. Такие датчики выпускаются целым рядом фирм. В этих датчиках информация об измеренной температуре передается длительностью (или скважностью) выходного импульса.

Наиболее предпочтительной микросхемой является SMT172, которая отличается малым потребляемым током (средний потребляемый ток при 1 измерении в секунду составляет 0,22 мкА), низким напряжением питания (от 2,7 В), высокой точностью измерений (не хуже 1 °С) и широким диапазоном измеряемых температур (по согласованию с производителем от –55 до 130 °С), что приемлемо для решения практически всего круга задач в энергетике, даже при работе оборудования в арктических широтах.

Средняя электрическая мощность, потребляемая таким измерительным модулем, не превышает 0,3 мВт. Питание измерительного модуля решается применением в качестве фотовольтаических преобразователей светодиодов на основе AlGaAs, излучающих в диапазоне 850...870 нм. Как показано в [2], эти светодиоды имеют замечательные фотовольтаические характеристики и на их основе легко сделать преобразователи с выходным напряжением 1,23 – 1,25 В и эффективностью фотовольтаического преобразования до 50% при облучении их светом с длиной волны 808 нм и мощностью до 50 мВт.

Описание процедуры превращения светодиода AL118 в фотовольтаический преобразователь с волоконным входом приведено в [3]. Дальнейшее увеличение напряжения до значений 3,3 В, используемого для питания микросхем измерительного модуля, осуществляется с помощью индуктивных повышающих преобразователей напряжения, выпускаемых многими фирмами.

Поскольку в рассматриваемом устройстве ФВП должен работать во всем диапазоне измеряемых температур, были изменены температурные зависимости характеристик ФВП в диапазоне $-60 \dots +60$ °С.

В результате измерения установлено, что электрическая мощность, отдаваемая ФВП в нагрузку при рабочем напряжении 1,1 В, незначительно изменяется в диапазоне температур $-20 \dots +40$ °С и уменьшается на 20% при температурах -60 и $+60$ °С.

Учитывая незначительную мощность, потребляемую измерительным модулем, применение предложенного ФВП гарантированно обеспечивает электрическим питанием описанный выше датчик температуры при мощности питающего оптического излучения до 100 мВт, что реализуемо со многими типами лазеров на 808 нм, выпускаемых промышленностью, и гарантирует надежную передачу информации по волоконной линии длиной до 2 км.

Другим вариантом ФВП для датчика температуры является применение светодиодов SFH4235 или SFH4250 [3]. Отличительной особенностью полупроводниковой структуры этих светодиодов является наличие двух последовательных *p-n*-переходов, вследствие чего напряжение, генерируемое ими в фотовольтаическом режиме, составляет 2,5...2,6 В, что позволяет применять их для питания измерительных модулей даже без повышающих преобразователей.

При комнатной температуре и мощности оптического излучения с длиной волны 808 нм, 30 мВт напряжение на выходе структуры составляло 2,56...2,58 В, а ток короткого замыкания 4,5...5 мА. Эти характеристики обеспечивают эффективность фотовольтаического преобразования 30...35% на длине волны 808 нм. На длине волны 850 нм, соответствующей максимальной чувствительности структуры, эффективность увеличится до 45...50%.

Вариант питания на светодиоде SFH4250 был реализован в датчике температуры с применением таймера TS555MD и терморезистора 135-104LAF-J01 во времязадающей цепи.

Реализация термометра по этой схеме показала, что средний потребляемый ток не превышает 150 мкА, что при питании схемы от светодиода SFH4250 обеспечивает надежную работу термометра.

В процессе измерений частоты выходных импульсов от температуры проверялось возможное влияние на показания термометра импульсных помех, обусловленных коронными разрядами. При изменении напряжения на корпусе термометра от 10 до 80 кВ влияния импульсных помех, инициированных коронным разрядом на показания термометра, замечено не было.

В настоящей работе показано, что с помощью простых фотовольтаических преобразователей, выполненных на светодиодах, можно создавать практические конструкции гибридных волоконно-оптических датчиков, в частности, датчиков температуры для применения в высоковольтных системах.

Список литературы и источников

1. Turan, J. Optically Powered Fiber Optic Sensors, Acta Electrotechnica et Informatica / J. Turan, L. Ovsenik, J. Turan Jr. – V. 5, № 3. – 2005. – P. 1 – 7.
2. Sokolovskii, A. A. Photovoltaic Characteristics of AlGaAs-Based LEDs, Technical Physics Letters / A. A. Sokolovskii. – 2018. – V. 44, № 4. – P. 341 – 343.
3. Sokolovskii, A. A. Optoelectronic Measuring Systems for High-Voltage Installations Based on Photovoltaic Converters, Measurement Techniques / A. A. Sokolovskii. – 2019. – № 12. – URL : <https://doi.org/10.1007/s11018-019-01682-2>.

Матьцина И. А., Коробова Л. А., Абрамов Г. В.

Воронежский государственный университет инженерных технологий,
(г. Воронеж, Россия)

РАСПОЗНАВАНИЕ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Аннотация. Статья продолжает тему публикаций, посвященных распознаванию звуковых сигналов, в том числе и кашлевых толчков, с использованием различных математических методов. В работе представлена информационная система для диагностики больных легочными заболеваниями. Основной проблемой данной системы является определение параметров кашлевых фрагментов в мониторинговой записи, записанной при помощи диктофона. Приведены критерии распознавания кашлевых моментов, проведен анализ обработки звуковой записи и систематизированы результаты исследования. Данная система может быть использована врачами для диагностики состояния больных, а также при мониторинге процесса лечения.

Ключевые слова: распознавание, звуковые сигналы, поддержка принятия решения, информационная система.

В качестве распознавания звуковых сигналов в медицинских информационных системах (МИС) поддержки принятия рассмотрим проблему мониторингования легочных заболеваний. Для получения

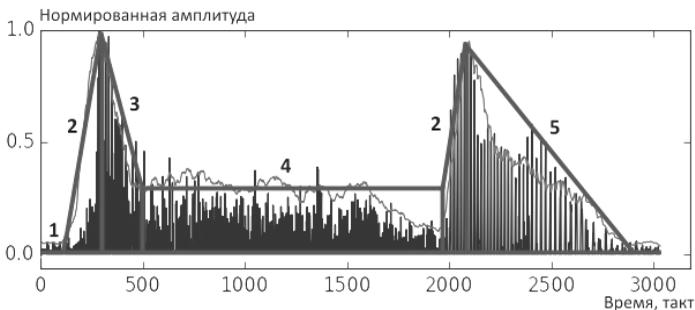


Рис. 1. Схема этапов обработки звуковой записи

результата обработки и распознавания звуковых сигналов кашля первоначально необходимы натуральные звуковые записи пациентов, страдающих легочными заболеваниями, записанные в режиме реального времени.

Используется суточная запись пациента (т.е. длительный звуковой аудиофайл в формате wav – Waveform Audio File Format). Данное ограничение на кодирование аудиозаписи накладывается в связи с тем, что упомянутый формат используется для хранения несжатого сигнала с использованием импульсно-кодовой модуляции, поэтому существенные составляющие звуковой волны не смогут быть потеряны в результате работы алгоритмов кодирования, пренебрегающих точностью, в угоду размеру закодированного сигнала. Первоначально суточная запись пациента загружается в ИС и проводится ее сегментация.

Схема сегментации звуковой записи представлена на рис. 1. 1 этап – начало звуковой записи.

Как только алгоритм находит заданную амплитуду звуковой записи (по умолчанию используется значение 0,7), проводится отступ в 0,05 секунды в обратную сторону от найденного экстремума (2 этап) и вырезается фрагмент необходимой длины в сегмент (0,45 секунды). 3, 4 этапы соответствуют снижению амплитуды звукового сигнала до ненулевого значения.

Выбранный звуковой отрезок заносится во временную акустическую базу данных для дальнейшего распознавания.

Затем происходит поиск следующего пика звуковой записи до значения амплитуды 0,7 и повторение этапа 2. При снижении амплитуды сигнала до нулевого значения без периодических всплесков амплитуды в сегмент 0,45 секунды, этот звуковой отрезок не учитывается системой. По такой схеме обработка звукового сигнала продолжается

по всей длине записи до ее окончания. Блок-схема алгоритма сегментации представлена на рис. 2.

Таким образом, из длительной звуковой записи пациента выделяются сегменты, равные 0,45 с.

Для продолжения работы системы и классификации и звуковых отрезков на кашель и шум необходимо выбрать звуковой сигнал кашля, который будет являться эталонным. С ним будет проводиться сравнение.

Затем все полученные звуковые отрезки и эталон проходят через блок нечеткой логики, в которой по правилам вывода происходит распознавание звуковых сигналов.

В результате обработки пользователь получает рекомендации с результатом работы ИС, где указано количество кашлевых приступов и их частота.

Основной проблемой распознавания звуковых сигналов кашля является, то что кашли разных людей различны, но даже кашли одного и того же человека отличаются друг от друга. Но надо еще отметить то, что есть шумы, которые очень похожи на кашли.

Процесс обработки звукового сигнала условно разбит на четыре этапа.

Первый этап – описывает процесс получения исходного звукового сигнала с последующей его модуляцией и кодированием wav-формата. К сожалению, использование оборудования для

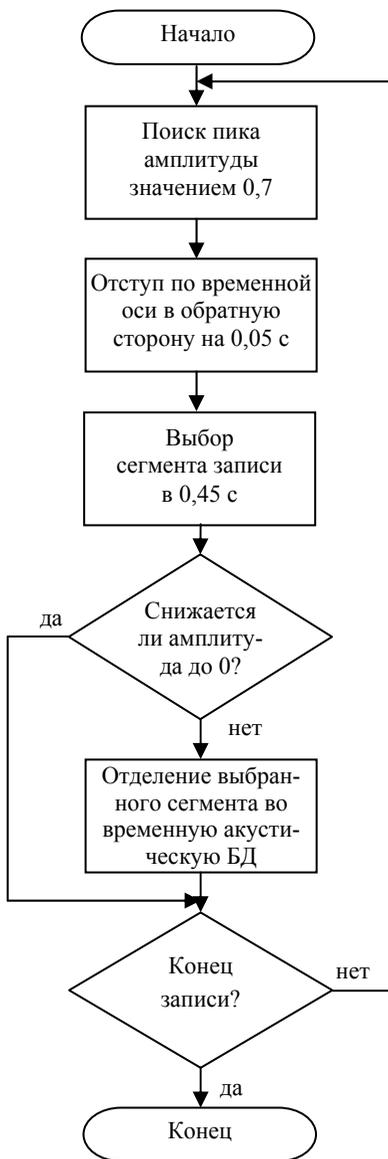


Рис. 2. Блок-схема алгоритма сегментации звуковой записи

полифонической записи звукового сигнала, который, разумеется, несет большую полезную информационную нагрузку, невозможно ввиду его громоздкости, поэтому ИС рассчитана исключительно на монофонические записи. Применение нескольких каналов в исходной суточной записи пациента невозможно без предварительного декодирования путем отбрасывания одного из каналов.

Второй этап – иллюстрирует подсистему, которая проводит выделение из длительной записи непродолжительных отрезков заданной длины, которые удовлетворяют некоторому общему условию. В качестве него после многочисленных экспериментов было предложено использовать момент превышения порогового значения амплитуды в размере 70% от максимального значения. Так же на этом этапе проводится фильтрация по высоким частотам, так как на звуковую запись попадают высокочастотные шумы. Отсекаются отрезки, не удовлетворяющие частотным характеристикам. По всем оставшимся звуковым отрезкам строятся огибающие, которые затем разделяются на две составляющие. В дальнейшей работе системы используется либо исходный сигнал, либо огибающая исходного сигнала, либо две составляющие огибающей, лежащие выше и ниже оси абсцисс, для простоты в дальнейшем будем называть их положительной и отрицательной частями огибающей.

На третьем этапе проводится анализ и обработка звуковых сигналов. Для распознавания звуковых сигналов кашля были рассмотрены и проанализированы различные математические методы, основанные на корреляционном анализе, байесовской оценке, быстром преобразовании Фурье, а также критерии, использующие интегральные оценки и среднеквадратическое отклонение.

На четвертом этапе происходит вывод результата. Результаты представляют собой список выделенных звуковых сегментов с пометками к какому классу (кашель или шум) был отнесен данный отрезок в соответствии с текущим набором критериев.

В результате обработки звуковой записи информационная система дает количественный показатель выраженности кашля пациента, что оказывает объективную поддержку в принятии решения в постановке диагноза.

Список литературы

1. Абрамов, Г. В. Информационная система распознавания и обработки звуковых сигналов / Г. В. Абрамов, Л. А. Коробова, И. А. Матыцина // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. – 2014. – С. 3 – 6.

2. Математические методы в распознавании кашлевых толчков / Г. В. Абрамов, Л. А. Коробова, И. А. Матыцина, Ю. А. Гончарова // Моделирование энергоинформационных процессов : сб. ст. IV Международ. науч.-практ. интернет-конференции. – 2016. – С. 10 – 12.

3. Information System for Diagnosis of Respiratory System Diseases / G. V. Abramov, L. A. Korobova, A. L. Ivashin, I. A. Matytsina // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Т. 1015. – С. 042036.

Сукачев А. И., Балашов Ю. С., Семенов В. Ю., Сукачева Е. А.
Воронежский государственный технический университет
(Воронеж, Россия)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С ФУНКЦИЕЙ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

Аннотация. В статье предлагается многофункциональное устройство, совмещающее режим хранения данных и режим внешнего источника питания, рассматриваются его технические характеристики и элементная база. Проводится анализ основных аналогов, в ходе которого подбираются оптимальные параметры разрабатываемого изделия.

Ключевые слова: портативность, мультизадачность, источник питания, накопитель памяти.

В современном мире удовлетворение повседневных нужд человека становится все более актуальной проблемой, требующей применения информационных технологий. Аппаратно-программные комплексы, относящиеся к данной сфере разработок, должны обладать такими качествами, как мобильность, компактность, мультизадачность. К сожалению, производителям не всегда удается реализовать вышеперечисленный набор достоинств, что негативно сказывается на развитии носимой электроники. Решить сложившуюся ситуацию поможет создание устройства, которое выполняет роль внешнего источника питания, а также позволяет хранить и передавать данные.

Идея разработки устройства не является новой, и на рынке присутствуют аналоги со схожими функциональными возможностями. Рассмотрим основные аналоги:

1. ADATADashDriveAirAE800.

- Габариты – 134×80×22 мм.
- Масса – 280 г.

- Аккумулятор – Li-ion 5200 мАч.
- Накопитель памяти – HDD 2,5” 500 Гб.
- Интерфейс подключения – USB 2.0 Type A, USB 3.0 Type A.
- Возможность беспроводного подключения (поддержка Wi-Fi) – есть.

2. WD My Passport Wireless.

- Габариты – 135×135×30 мм.
- Масса – 440 г.
- Аккумулятор – 7000 мАч.
- Накопитель памяти – SSD 3,5” 500 Гб, разъем для карты памяти SD.

- Интерфейс подключения – USB 2.0, USB 3.0.
- Возможность беспроводного подключения (поддержка Wi-Fi) – есть.

Безусловный плюс обоих аналогов – поддержка Wi-Fi. Следует отметить, что в WD My Passport Wireless предусмотрен разъем для SD-карты, что является заметным преимуществом, поскольку обеспечивает гибкость памяти и возможность переноса хранимых данных на другие устройства.

Проведенный анализ позволяет определить параметры разрабатываемого изделия:

- 1) Габариты – 80×70×25 мм.
- 2) Масса – 180 г.
- 3) Аккумулятор – Li-ion 9000 мАч.
- 4) Накопитель памяти – 3 разъема microSD (объем памяти определяется пользователем).
- 5) Интерфейс подключения – USB 2.0 TypeA, USB 2.0 TypeC.

6) Присутствует возможность беспроводного подключения (протокол обмена – 802.11 b/g/n, протокол шифрования – SSL, протокол прикладного уровня – FTP). Время автономной работы в режиме точки доступа – не менее 12 часов.

Вместе с тем аппаратно-программный комплекс имеет ряд важных отличий от аналогов.

Во-первых, шифрование данных на накопителе осуществляется посредством собственного протокола, включающего в себя идентификацию и аутентификацию пользователя, а также детектирование несанкционированного доступа: это позволяет защитить данные в случае утери изделия.

Во-вторых, в устройство добавлены функция быстрой зарядки и функция загрузки файлов из облака.



Рис. 1. Структурная схема устройства

Реализовать планируемый функционал в полной мере позволит следующая структурная схема. Разрабатываемый аппаратный блок состоит из устройства управления (УУ), которое соединяется с модулем управления питанием (МУП), модулем управления внешними носителями (МУВН) и телекоммуникационным модулем (ТКМ). МУП обеспечивает взаимодействие с аккумулятором. МУВН обеспечивает поддержку трех карт памяти. С помощью ТКМ возможно подключение устройства к мобильному клиенту по беспроводной локальной сети. Для того чтобы пользователь мог получать информацию об уровне заряда, в изделие добавлен индикатор.

Массогабаритные параметры аппаратного блока определены габаритными размерами используемых комплектующих, а именно, аккумуляторными отсеками 18650 (3 штуки) и габаритными размерами разработанной печатной платы. В устройстве используется микроконтроллер ESP32, так как с его помощью обеспечивается поддержка Wi-Fi.

На рисунке 2 представлена трехмерная модель изделия.



Рис. 2. Трехмерная модель устройства

Разрабатываемый аппаратный блок будет соответствовать стандарту пылевлагозащищенности IP55, который подразумевает под собой следующие требования:

1) к пылезащищенности: стандартом подразумевается неполная защита от попадания пыли, но при этом попавшая пыль не влияет на работоспособность устройства;

2) к влагозащищенности: стандартом подразумевается защита от водяной струи с сохранением работоспособности устройства.

Список литературы

1. Bashlykov, V. V. Alternative approach to development of specialized elements of object-oriented interface / V. V. Bashlykov, A. I. Sukachev, Yu. V. Hudyakov // Modern informatization problems in economics and safety Proceedings of the XXIII-th International Open Science Conference. – 2018. – С. 14 – 18.

2. Sukachev, A. I. Analysis of the use of interactive adaptive algorithm with an estimated total coincidence for the organization of information interaction of distributed software systems : Selected Papers of the International Scientific School “Paradigma” / A. I. Sukachev. – Winter-2016 (Varna, Bulgaria). Compiling Editor Dr. Sc., Prof. O. Ja. Kravets. Yelm, WA, USA, 2016. – С. 121 – 124.

Суконкин И. А., Суконкин О. И.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ВЫДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА УЛЬТРАЗВУКОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Аннотация. Рассмотрены подходы к выбору информативных признаков для автоматического распознавания объектов на ультразвуковых изображениях. Сформулированы требования, которым должны удовлетворять такие признаки.

Ключевые слова: информативные признаки, распознавание, поиск объектов, ультразвуковое изображение.

В настоящее время на первый план выходят не только задачи повышения качества ультразвуковых изображений, но и задачи автоматизации анализа полученных изображений, автоматического поиска и

классификации объектов на изображении. Данное направление применяется при разработке систем поддержки принятия решений врачом-диагностом, медицинской визуализации, а также в системах автоматического формирования заключений.

Важнейшим этапом в построении системы автоматического распознавания является выбор информативных признаков, по которым и будет проводиться классификация объектов. Целью работы является формирование набора информативных признаков, которые могут быть использованы для автоматического распознавания объектов на ультразвуковом изображении.

Большинство объектов на ультразвуковом изображении, являющихся предметом исследований, можно охарактеризовать следующими свойствами: форма объекта заранее известна, положение и размер объекта могут изменяться, возможно наличие помех на изображении, объект в текущий момент времени можно считать неподвижным, изображение сформировано в оттенках серого, некоторые объекты схожи по форме (возможна ошибочная классификация).

С учетом приведенных свойств сформируем требования к информативным признакам:

1. Выполнение условий разделимости двух классов [1]:
 - монотонная связь с вероятностью ошибки ($P_{\text{ош}}$);
 - монотонная связь с верхней и нижней границами $P_{\text{ош}}$;
 - инвариантность относительно взаимно однозначных отображений;
 - аддитивность по отношению к независимым признакам;
 - метрические свойства критерия разделимости:

$$J(\Omega_i, \Omega_j, Y_s) = 0, \text{ при } i \neq j,$$

$$J(\Omega_i, \Omega_j, Y_s) = J(\Omega_j, \Omega_i, Y_s), \text{ при } i = j,$$

$$J(\Omega_i, \Omega_j, Y_s) \leq J(\Omega_i, \Omega_j, Y_{s+1}),$$

где $J(\Omega_i, \Omega_j, Y_s)$ – критерий; Ω_i, Ω_j – распознаваемые классы (гипотезы); Y_s – вектор признаков размерности S .

2. Инвариантность к повороту объекта и изменению угла обзора.
3. Не требуют разработки новых технических средств для их измерений.

В качестве способа решения данной задачи предлагается использовать методы анализа главных компонент или преобразование Хотеллинга и разложение Карунена–Лоэва [2].

Для цифрового изображения $U(x, y)$ имеет место дискретный вариант разложения Карунена–Лоэва:

$$R\Phi = \Phi\Lambda \quad \text{или} \quad \sigma^2\varphi(x, y) = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N R(x, y, x', y')\varphi(x', y'), \quad (1)$$

где R – ковариационная матрица множества $\{U\}$,

$$R = \text{cov}\{U\} = M\{(U - U_0)(U - U_0)^T\}.$$

Решением (1) является набор собственных функций или собственных векторов $\omega = \varphi_i$, $i = 1 \dots n$, удовлетворяющих собственным значениям λ_i .

Уравнение (1) можно представить в матричной форме:

$$R\Phi = \Phi\Lambda,$$

где $\Phi = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n]^T$ – матрица собственных векторов; $\Phi^T\Phi = I$ (I – единичная матрица), а

$$\Lambda = \begin{matrix} \lambda_1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 0 & \lambda_n \end{matrix} \quad \text{– матрица собственных значений.}$$

Построение признакового пространства системы распознавания с использованием в качестве признаков главных компонент (ГК) позволяет сократить размерность вектора признаков (их количество), так как можно использовать m первых ГК, соответствующих максимальным собственным значениям $\lambda = \sigma_k^2$. Причем $\lambda = \sigma_k^2$ представляют собой дисперсию математического ожидания распределений найденных признаков при переходе от класса к классу [3]. При этом среднеквадратичная ошибка, возникающая за счет того, что реальное признаковое пространство системы реализуется на основе конечного числа признаков, минимальна.

Иными словами, из N^2 собственных векторов можно оставить M векторов, соответствующих M максимальным собственным числам, и с их помощью находить значения признаков. При этом ошибка, вызванная отбрасыванием $(N^2 - M)$ векторов из матрицы преобразования, будет минимальна и практически не повлияет на разделительные свойства признаков.

На рисунке 1 представлен график собственных чисел для суммарной корреляционной функции изображений объектов в форме прямоугольника, треугольника и эллипса (круга). Такие формы объектов выбраны исходя из того, что практически любой объект ультразвукового исследования можно описать с помощью этих фигур. Кроме того, функции расчета площадей и объемов в современных ультразвуковых аппаратах оперируют с такими же фигурами.

Из графика видно, что при упорядочении собственных чисел в порядке убывания, их убывание происходит довольно быстро, и максимум дисперсии (площадь под кривой) сконцентрирован в первых 20 собственных числах.

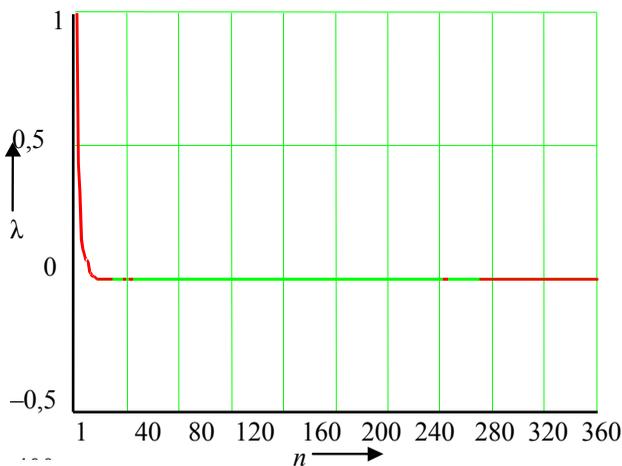


Рис. 1. Нормированные собственные значения суммарной корреляционной матрицы

Таким образом, выделение признаков для каждого фрагмента изображения может быть описано выражением $PR = \Phi^T U$, где PR – матрица значений признаков.

Выводы. Предложены информативные признаки для автоматической системы распознавания объектов на ультразвуковом изображении. Такими признаками являются признаки, полученные в результате анализа главных компонент изображений объектов, которые необходимо классифицировать.

Список литературы

1. Бурый, Е. В. Получение инвариантных информативных признаков для распознавания двумерных контрастных изображений объектов / Е. В. Бурый, Д. Асеф // Нейрокомпьютеры и их применение : сборник докладов VI Всероссийской конференции, 16 – 18 февраля, 2000 г. – М., 2000. – С. 32 – 43.
2. Волченков, Е. Я. Преобразование главных компонент и методы его применения в распознавании образов и обработке изображений / Е. Я. Волченков // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – № 3. – С. 59 – 72.
3. Горелик, А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – М. : Высш. шк., 1989. – 232 с.

Сустин А. И., Пудовкин А. П.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ДО МАНЕВРИРУЮЩЕГО ВОЗДУШНОГО СУДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КАЛМАНОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ТРЕТИЧНОЙ ОБРАБОТКЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Аннотация. В данной статье рассмотрены методы определения дальности до пилотируемого воздушного судна с применением калмановской фильтрации в третичной обработке информации, а также представлены результаты сравнения этих методов.

Ключевые слова: третичная обработка информации, воздушные суда, дальномерный канал, модель, фильтр Калмана.

При определении расстояния до маневрирующего воздушного судна (ВС) информационно-измерительными системами (ИИС) управления воздушным движением (УВД) с применением вторичной обработкой информации возникает проблема низкой точности, связанная с тем, что движение ВС в районе аэродрома не соответствует существующим классическим моделям движения ВС [1]. Исследования показывают, что при маневрах (взлет, посадка и т.д.) возникают значительные ошибки в оценке координат ВС [1], не соответствующие современным требованиям к системам УВД по обеспечению пропускной способности при заданном уровне безопасности воздушного движения. Предпочтительным вариантом решения данной проблемы является

ся синтез алгоритмов функционирования дальномерного канала ИИС УВД с использованием третичной обработки информации (ТОИ). Выгода использования ТОИ заключается в использовании нескольких радиолокационных станций (РЛС), что позволяет более качественно обработать радиолокационную информацию на основе существующих классических моделей движения ВС.

Используемые методы ТОИ основаны на применении в каждой из РЛС зингеровской модели состояния и наблюдения [2 – 4]:

$$D(k) = D(k-1) + v(k-1)T + 0,5a(k-1)T^2; \quad (1)$$

$$v(k) = v(k-1) + a(k-1)T; \quad (2)$$

$$a(k) = (1 - \alpha_\Phi T)a(k-1) + \xi_a(k-1); \quad (3)$$

$$D_{\text{и}}(k) = D(k) + \xi_{D_{\text{и}}}(k), \quad (4)$$

где $D(k)$ – дальность до ВС; $v(k)$ – скорость ВС; $a(k)$ – ускорение ВС; k – номера отсчетов, взятых с дискретностью T , равной шагу вычисления; $D_{\text{и}}(k)$ – измеренное значение дальности до ВС; $\xi_a(k-1)$ – дискретный центрированный гауссовский шум с известной дисперсией D_a ; $\xi_{D_{\text{и}}}(k)$ – дискретный центрированный гауссовский шум измерения с известной дисперсией $D_{\text{и}}$; α_Φ – постоянная времени маневра ВС.

Учитывая модели состояния (1) – (3) и наблюдения (4), содержащие информацию о дальности до ВС, и выражения для линейной фильтрации [1, 5], алгоритм фильтрации для оценивания сопровождаемой дальности, скорости и ускорения будет иметь вид [2]:

$$D_o(k+1) = D_s(k+1) + K_{\Phi_3} \Delta D(k+1); \quad (5)$$

$$V_o(k+1) = V_s(k+1) + K_{\Phi_3} \Delta V(k+1); \quad (6)$$

$$A_o(k+1) = A_s(k+1) + K_{\Phi_3} \Delta A(k+1); \quad (7)$$

$$D_s(k+1) = D_o(k) + V_o(k)\tau + A_o(k)\tau^2/2; \quad (8)$$

$$V_s(k+1) = V_o(k) + A_o(k)\tau; \quad (9)$$

$$A_s(k+1) = (1 - \alpha)A_o(k); \quad (10)$$

$$\Delta D(k+1) = D_{\text{и}}(k+1) - D_s(k+1), \quad (11)$$

где переменные с индексом «о» – оцененные значения соответствующих величин; переменные с индексом «э» – экстраполированные значения соответствующих величин; $K_{\phi 11}$, $K_{\phi 21}$ и $K_{\phi 31}$ – коэффициенты усиления калмановского фильтра; $\Delta D(k)$ – невязка калмановского фильтра.

Для улучшения точностных характеристик при определении дальности ИИС необходимо также учитывать весовые коэффициенты.

В зависимости от конструкции ИИС УВД могут проводиться различные типы ТОИ:

- с равным весом поступающей информации;
- со статическими весовыми коэффициентами, характеризующими эффективность и точность центров получения радиолокационной информации (РЛИ);
- с динамическими весовыми коэффициентами, характеризующими эффективность обнаружения цели.

Самый простой из предложенных типов ТОИ – первый. Информация об оценке дальности до ВС от каждой из РЛС, поступающая в центр управления, является равной по весу, поэтому формирование отметки происходит посредством усреднения значений дальности от каждой из РЛС. Данный метод не учитывает ошибки измерителей и относительные расположения РЛС и ВС.

Использование статических весовых коэффициентов при обнаружении дальности с ТОИ дает более точный результат в сравнении с методом усреднения значений. В таком случае дальность определяется как [3]

$$D_{\text{ТОИ}} = \frac{b_1 D_1 + b_2 D_2}{b_1 + b_2}, \quad (12)$$

где b_1 и b_2 – весовые коэффициенты среднеквадратичного отклонения (СКО) измерителей РЛС1 и РЛС2.

Весовые коэффициенты задаются один раз по формулам [4]:

$$b_1 = \frac{1}{\Delta D_1^2}; \quad (13)$$

$$b_2 = \frac{1}{\Delta D_2^2}, \quad (14)$$

где ΔD_1 и ΔD_2 – невязки дальностей РЛС1 и РЛС2.

Применение способа определения дальности с применением ТОИ с динамическими весовыми коэффициентами, точнее, метода, статиче-

ских весовых коэффициентов ввиду изменения весовых коэффициентов в процессе измерения дальности. Весовые коэффициенты при использовании данного метода определяются по формулам [3]:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^2 t_1 (2\pi D_1)^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{\Delta D_1^2}{2D_1}\right\}}{\sum_{j=1}^2 t_1 (2\pi D_1)^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{\Delta D_1^2}{2D_1}\right\}}; \quad (15)$$

$$b_2 = \frac{\sum_{i=1}^2 t_2 (2\pi D_2)^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{\Delta D_2^2}{2D_2}\right\}}{\sum_{j=1}^2 t_2 (2\pi D_2)^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{\Delta D_2^2}{2D_2}\right\}}, \quad (16)$$

где D_1 и D_2 – дисперсия невязки.

Оценка точности системы ТОИ проводится на основе моделирования среднеквадратического отклонения (СКО) оценки дальности. Результаты моделирования СКО оценки дальности σ_d для РЛС1, РЛС2 и ТОИ представлены на рис. 1.

На основании результатов моделирования можно сделать вывод, что применение способа определения дальности для метода динамических весовых коэффициентов ИИС ТОИ повышает точность оценки дальности по сравнению с определением дальности от каждой из РЛС.

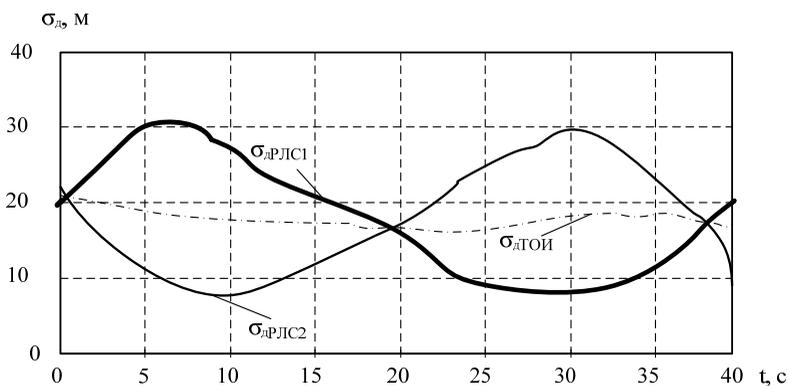


Рис. 1. СКО дальности РЛС1, РЛС2 и ТОИ

Это объясняется различными точностными характеристиками оценивания дальности ВС для РЛС1 и РЛС2, размещенных на определенном расстоянии друг от друга, и возможностью обработать информацию о дальности до ВС в ИИС ТОИ.

Таким образом, из всех трех методов определения дальности до ВС с использованием методов калмановской фильтрации в ТОИ наиболее точным является метод использования динамических весовых коэффициентов.

Список литературы

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. Панасюк, Ю. Н. Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах: учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
3. Сустин, А. И. Методы повышения точности координат в третичной обработке информации / А. И. Сустин, А. И. Рогачев, Ю. Н. Панасюк // Радиозлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. науч. тр. – Тамбов, 2018. – С. 39 – 41.
4. Сустин, А. И. Третичная обработка радиолокационной информации в дальномерном канале / А. И. Сустин, А. И. Рогачев // Радиозлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. науч. тр. – Тамбов, 2018. – С. 66 – 68.
5. Данилов, С. Н. Алгоритм сопровождения с реконfigurацией модели / С. Н. Данилов, Р. А. Ефремов, Н. А. Кольтюков // Вестник ТГТУ. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 418 – 423.
6. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics : Conference Series / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112 (2018).
7. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics : Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.

*Исследование выполнено
при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 19-38-90112*

Трифонов А. А.
Юго-Западный государственный университет
(г. Курск, Россия)

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОМ

Аннотация. Рассматриваются вопросы построения систем нейросетевого управления экзоскелетом при реабилитационных мероприятиях с большими инсультом. В качестве медикобиологических сигналов используется электромиограмма.

Ключевые слова: экзоскелет, биологическая обратная связь, электромиосигнал, нейроконтроллер.

Цереброваскулярная патология и ее наиболее тяжелая форма – инсульт являются одной из наиболее частых причин потери двигательных функций. В настоящее время отмечается стремительная тенденция к увеличению числа больных инсультом, а также к их «омоложению». По данным ВОЗ, 30% больных составляют лица трудоспособного возраста (до 50 – 60 лет). Инсульт – ведущая причина инвалидности взрослого населения, поэтому разработка эффективных методов и средств восстановления двигательных функций не перестает быть актуальной.

В последние годы большее распространение получили устройства, названные экзоскелетами, т.е. внешними скелетами. Одним из способов реабилитации является вертикализация с помощью экзоскелета, т.е. переход из положения «сидя» в положение «стоя». Клиническое применение вертикализации доказало высокую эффективность в проведении реабилитационной терапии при самых различных неврологических нарушениях. Процесс вертикализации может быть реализован посредством нейроконтроллера с программным управлением или с помощью биологической обратной связи (БОС). В качестве БОС используются либо электромиосигналы (ЭМС), либо электроцефалосигналы (ЭЭС). Биотехническая система реабилитационного типа рассмотрена в [1]. Одно из возможных ее структурных решений с использованием экзоскелета и БОС представлено на рис. 1.

Система работает следующим образом. Пациент пытается встать, при этом миограф фиксирует ЭМС. Известно, что сложные ЭМС,

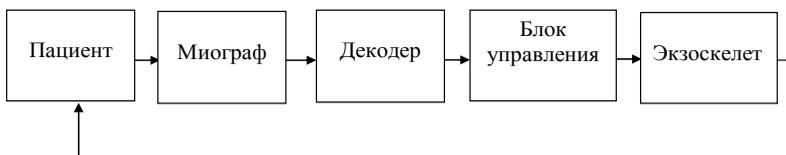


Рис. 1. Структурная схема биотехнической системы с БОС

снимаемые с поверхности кожи вблизи от сокращающихся мышц, являются результатом сложения электрических потенциалов, генерируемых большим количеством так называемых, двигательных единиц (ДЕ) (групп мышечных волокон). Каждая ДЕ генерирует квазипериодические импульсы, частота следования которых определяется величиной усилия мышцы, совершающей механическую работу. Длительность импульсов на порядок меньше периода их следования.

ЭМС декодируется декодером в вектор информативных признаков (ИП) для блока управления. Блок управления, выполненный в виде нейроконтроллера или нечеткого нейроконтроллера, генерируя вектор управления \bar{u} на входе экзоскелета, приводит его в вертикальное положение. Пациент наблюдает вектор состояния экзоскелета $\bar{\varphi}$ и мысленно «помогает» экзоскелету привести себя в вертикальное положение. В зависимости от интенсивности такой «помощи» зависит интенсивность генерируемых ЭМС.

В качестве нейросетевого управления экзоскелетом использовалась последовательная схема нейросетевого управления. Для реализации этой схемы управления нейронная сеть должна обеспечить обратную динамику объекта управления. В связи с этим было принято решение использовать схему специализированного обучения [2].

Если известна математическая модель объекта, то, решив соответствующую систему дифференциальных уравнений численными методами [2], получаем пары координат $[u(t), \varphi(t)]$, которые будем использовать для настройки нейронной сети. В данном случае она является эмулятором объекта управления. Однако после настройки не представляется возможным использовать эту нейронную сеть в последовательной схеме нейросетевого управления, так как для этого необходима нейронная сеть, отражающая инверсную, а не прямую, как в данном случае, динамику объекта управления. Для инверсии нейронной сети используем нейронную сеть встречного распространения (ВР), которая является универсальным инвертором [2]. Сеть ВР состоит из двух слоев: слоя Кохонена и слоя нейронов Гроссберга (рис. 2). На вход сети поступает пара векторов $\bar{\varphi}$ и \bar{u} . На выходе получаем их копии $\bar{\varphi}$ и \bar{u} .

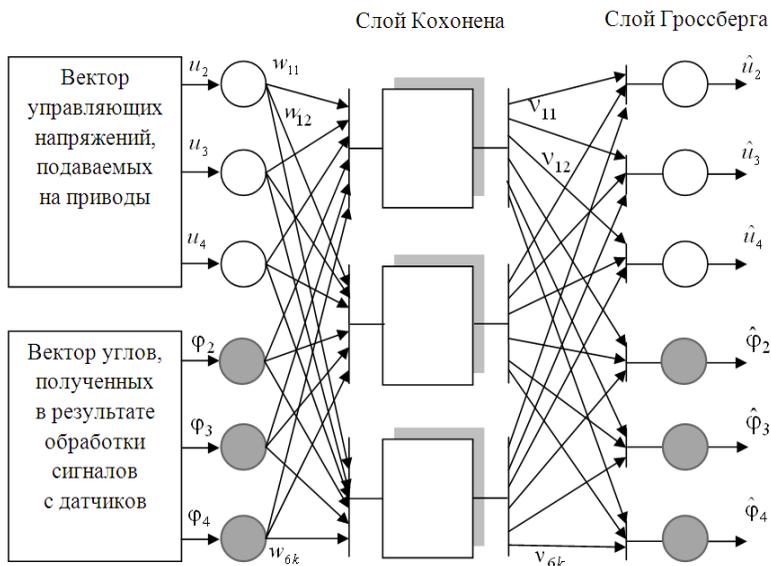


Рис. 2. Сеть встречного распространения ошибки

Если предварительно обученную ВР включить в последовательную схему нейросетевого управления, то она на выходе все равно будет отображать пару векторов $\hat{\varphi}$ и \hat{u} несмотря на то, что на входе будет присутствовать только один вектор $\bar{\varphi}$. Использование сети ВР в последовательной схеме нейросетевого управления по схеме специализированного обучения обуславливается ее уникальной способностью порождать функцию и обратную к ней. Следовательно, после обучения $\bar{\varphi}$ сети имеется возможность предъявлять на ее вход только вектор $\bar{\varphi}$, заполняя вектор \bar{u} нулевыми элементами, получая при этом на выходе вектор управляющих напряжений, на который настроена нейронная сеть. При этом, размерности векторов $\bar{\varphi}$ и \bar{u} могут не совпадать, что характерно для многосвязных систем управления.

В результате обучения входные векторы ассоциируются с выходными. Если сеть обучена, то подача входных векторов приводит к получению данных на выходе. Выходной вектор, соответствующий правильному решению, может быть получен и тогда, когда вход является неполным или неверным.

Таким образом, предложена новая структура последовательной схемы нейросетевого управления экзоскелетом, построенная по схеме

специализированного обучения с использованием нейронной сети встречного распространения ошибки в качестве нейроконтроллера. Схема нейросетевого управления апробирована на прототипе экзоскелета при управлении вертикализацией пациента.

Список литературы и источников

1. Кодовые образы сигналов электроэнцефалограммы для управления робототехническими устройствами посредством интерфейса мозг-компьютер / С. А. Филист, Е. В. Петрунина, А. А. Трифионов, А. В. Серебровский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал. – Т 7, № 1. – 2019. – С. 67 – 79. – URL : <http://moit.vivt.ru/>. doi: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.025.

2. Аль-Бареда, А. Я. С. Алгоритмы синтеза оптимального управления в биотехнических системах реабилитационного типа на основе технологий нейронных сетей / А. Я. С. Аль-Бареда, А. Н. Брежнева, Р. А. Томакова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 750 – 754.

*Исследование выполнено за счет гранта
Российского научного фонда (проект № 16-15-10327).*

Фролов С. В., Потлов А. Ю., Фролова Т. А.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Аннотация. Описываются методы и устройства для квазистатической и динамической оптической когерентной эластографии (ОКЭ), а также анализируются возможные варианты обработки и последующего использования получаемых при этом диагностических данных.

Ключевые слова: оптическая когерентная томография, оптическая когерентная эластография, эластограмма, мягкая биологическая ткань.

Оптическая когерентная томография (ОКТ) – метод медицинской диагностики, сочетающий в себе относительно небольшую глубину зондирования (до 2...2,5 мм) с очень высоким пространственным раз-

решением получаемых структурных изображений (единицы микрон). Дополнительно расширить диагностическую эффективность метода ОКТ, в том числе его эндоскопической модификации, можно за счет сочетания с эластографией. ОКЭ целесообразна при диагностике эластичности кровеносных сосудов, дыхательных путей и во многих других сферах медицины.

Для количественного определения механических свойств мягких биологических тканей в ОКЭ разработан ряд подходов. На основе полученной эластограммы измеряют параметры, характеризующие реакцию образца на статическую или динамическую нагрузку, и на основе принятой модели классической механики, которая определяет соотношение между этими параметрами и биомеханическими свойствами ткани, находят конкретные значения биомеханических характеристик, например, модуль Юнга.

Эти подходы можно разделить на три основные категории: определение механических свойств на основе нахождения амплитуды смещения или деформации, собственной и резонансной частоты, скорости распространения упругих волн в мягкой биологической ткани.

По аналогии с испытанием на одноосное сжатие, методы ОКЭ, в которых на эластограмме определяют амплитуду смещения или определяют модуль Юнга на основе одномерного закона Гука. При моделировании биологической ткани как изотропного упругого материала закон Гука определяет линейную зависимость между напряжением, приложенным к образцу и деформацией. Здесь напряжение σ равно отношению приложенной силы F к площади поперечного сечения S нагружаемого образца и определяется как $\sigma = F/S$. Относительная оценка деформации образца находится как $\varepsilon = \Delta l/l$, где Δl – величина деформации, а l – исходная длина образца. Основываясь на законе Гука, модуль Юнга E выражается как [1, 2]

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{Fl}{S\Delta l}.$$

Модуль Юнга является непосредственной мерой жесткости образца. Таким образом, при приложении равномерной нагрузки деформация ε или амплитуда деформации Δl создает эластограмму, на которой ткани контрастируют в зависимости от механических свойств.

Основываясь на одномерном законе Гука, биологическую ткань можно представить в виде модели, которая описывает упругие и вязкие свойства образца ткани. Зависимость между приложенной си-

лой $F(t)$ и полученным смещением $x(t)$ образца может быть представлена в виде дифференциального уравнения второго порядка [3]

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + R \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = F(t),$$

где m – масса образца, R – коэффициент динамической вязкости, k – коэффициент, характеризующий жесткость.

Решая это уравнение, смещение $x(t)$ и собственная частота колебаний f определяется соответственно:

$$x(t) = Be^{-\frac{R}{2m}t} \cos(2\pi ft + \varphi)$$

и

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{R^2}{4m^2}},$$

где B – амплитуда колебаний, φ – фазовый коэффициент колебаний. Если принять вязкость биологической ткани постоянной, то жесткость будет k линейно связана с квадратом собственной частоты. Таким образом, собственная частота колебаний биологической ткани может быть отображена на эластограмме, по которой определяется жесткость образца [1].

Кроме непосредственного использования собственной частоты в качестве индикатора, явление резонанса также может быть отображено на эластограмме в целях определения биомеханических характеристик ткани. Явление резонанса дает возможность оценить собственную частоту образца, по которой количественно измеряется жесткость биологической ткани [4].

Характер распространения механических волн также может отражать информацию о вязкоупругих свойствах биологической ткани. Оценка механических характеристик материала, основанная на изучении распространения механических волн, широко применяется в таких областях, как сейсмология, исследование материалов, а также в ультразвуковой и магнитно-резонансной эластографии. Для методов ОКЭ сдвиговая волна и поверхностная волна представляют собой два типа механических волн, которые в основном используются для визуализации и количественного определения биомеханических свойств [4].

Метод ОКЭ, использующий скорость сдвиговой волны для количественного измерения модуля Юнга, предоставляет информацию при исследовании регенерации сердечной ткани [1, 2, 4]. На основе изо-

бражения сдвиговой волны метод ОКЭ используется для контроля распространения поперечной волны в стенке левого желудочка и количественной оценки разницы механических свойств нормальной мышечной ткани и ткани генетически измененными миокардиоцитами.

При диагностике, лечении болезней сердца и сосудов метод ОКЭ имеет большие перспективы развития [5, 6]. Преимущественно в этих приложениях развитие должна получить эндоскопическая ОКЭ. Важно отметить, что для успешной реализации на практике методов эндоскопической ОКЭ требуется совершенствование имеющейся конструкции зонда эндоскопической ОКЭ системы, который может достигать исследуемый участок сердечно-сосудистой системы во время проведения малоинвазивного вмешательства.

Список литературы

1. Wang, S. Optical Coherence Elastography for Tissue Characterization: a Review / S. Wang, K. V. Larin // *Journal of Biophotonics*. – 2015. – Vol. 8, Is. 4. – P. 279 – 302.

2. Optical Coherence Tomographic Elastography Technique for Measuring Deformation and Strain of Atherosclerotic Tissues / J. Rogowska, N. A. Patel, J. G. Fujimoto, M. E. Brezinski // *Heart*. – 2004. – V. 90, Is. 5. – P. 556 – 562.

3. Greenleaf, F. Selected Methods for Imaging Elastic Properties of Biological Tissues / F. Greenleaf, M. Fatemi, M. Insana // *Annual Review of Biomedical Engineering*. – 2003. – V. 5, Is. 1. – P. 57 – 78.

4. An optical Coherence Tomography (OCT)-based Air Jet Indentation System for Measuring the Mechanical Properties of Soft Tissues / Y.-P. Huang, Y.-P. Zheng, S.-Z. Wang, Z.-P. Chen, Q.-H. Huang, Y.-H. He // *Measurement Science and Technology*. – 2009. – V. 20. – P. 1 – 11.

5. Пат. 2636864. Российская Федерация, МПК А61В 17/00 (2006.01). Способ выбора модели стента для процедуры стентирования церебральных артерий с аневризмой / Фролов С. В., Синдеев С. В., Потлов А. Ю. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ». – № 2015145079 ; заявл. 20.10.2015 ; опубл. 28.11.2017, Бюл. № 34.

6. Пат. 2636189. Российская Федерация, МПК А61В 6/00 (2006.01). Способ выбора потоконаправляющего стента / Фролов С. В., Синдеев С. В., Потлов А. Ю. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ». – № 2016112096 ; заявл. 30.03.2016 ; опубл. 21.11.2017, Бюл. № 33.

Фролов С. В., Потлов А. Ю., Фролова Т. А.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЭНДОСКОПИЧЕСКИХ ЗОНДОВ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ

Аннотация. Рассматриваются конструкция и принцип действия экспериментальных установок временной и спектральной эндоскопической ОКТ, схемы эндоскопических зондов прямого и бокового обзора.

Ключевые слова: оптическая когерентная томография, эндоскопические зонды.

Эндоскопическая ОКТ – разновидность метода ОКТ, характеризующаяся выполненным в виде эндоскопического зонда и чаще всего сменным плечом образца. Диагностическая ценность эндоскопической ОКТ заключается в том, что методы эндоскопической визуализации обеспечивают диагностику только поверхностей слизистых оболочек органов, а методы ОКТ позволяют получать структурные изображения слизистого слоя толщиной до 2,5 миллиметров с высоким пространственным разрешением [1, 2].

Системы для эндоскопической ОКТ могут быть как разрешенными по времени (рис. 1), так и разрешенными по частоте (рис. 2).

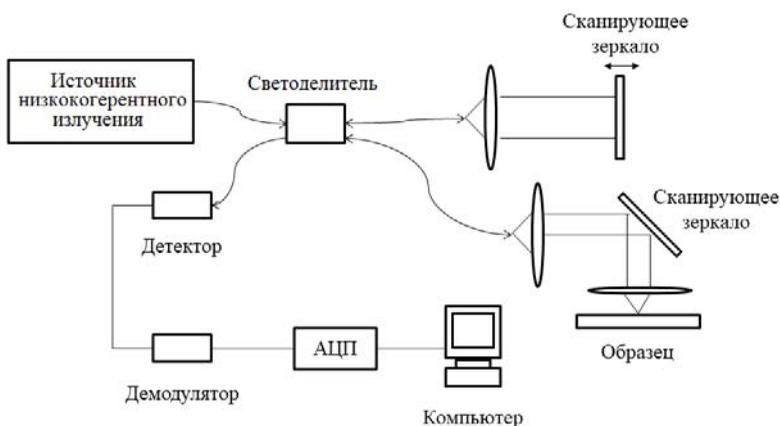


Рис. 1. Упрощенная структурная схема ОКТ во временной области

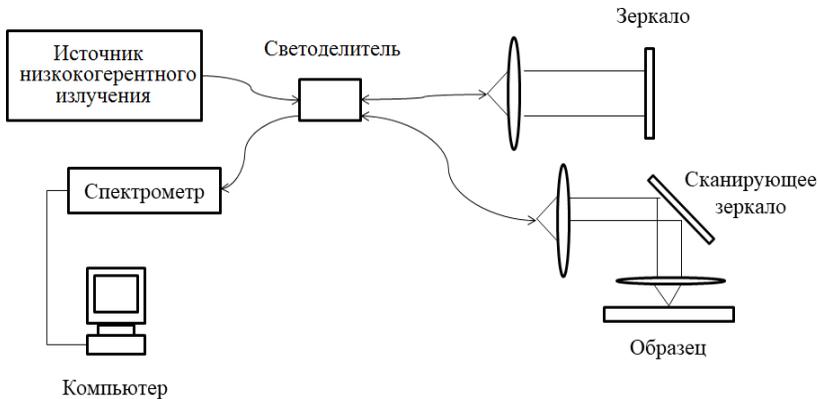


Рис. 2. Упрощенная структурная схема ОКТ в спектральной области

Время-разрешенная ОКТ характеризуется одновременным сканированием как в опорном плече, так и в плече образца. Сканирование в опорном плече необходимо для селекции излучения по глубине. Такой подход обеспечивает высокое пространственное разрешение, но относительно низкую скорость получения структурных изображений [1, 2].

Спектральная ОКТ отличается отсутствием механического движения в опорном плече. Сканирование по глубине заменяется анализом спектра интерференционного сигнала. Такой подход обеспечивает пространственное разрешение, соизмеримое с разрешением временной ОКТ, но позволяет резко повысить скорость получения структурных изображений [1].

Главной отличительной особенностью различных систем для эндоскопической ОКТ является конструкция плеча образца. Возможны различные варианты с использованием выносных эндоскопических зондов прямого и бокового обзора, а также зондов для мультимодальной диагностики [3].

Из-за сильного рассеяния глубина когерентного зондирования мягких биологических тканей в ОКТ ограничена 1...2,5 мм. Основные функции эндоскопического зонда ОКТ системы состоят в том, чтобы доставлять излучение к исследуемой части объекта, осуществлять сканирование этого объекта, собирать обратно отраженное излучение и передавать это излучение обратно в интерферометр ОКТ-системы [1, 3].

Типичные эндоскопические зонды включают в себя одномодовое волокно для доставки излучения, микрообъектив для фокусировки пучка света и сканирующую систему для дефлексии луча. Основываясь на направлении сканирования по отношению к продольной оси зонда, эндоскопы ОКТ-систем можно условно разделить на эндоскопы с зондами бокового обзора и эндоскопы с зондами прямого обзора.

Эндоскопический зонд бокового обзора предназначен для визуализации относительно большой площади органа, в то время как эндоскопический зонд прямого обзора более подходит для пространственной ориентации при проведении биопсии, размещении устройства для оказания компрессионного воздействия и т.п.

Основываясь на местоположении сканирующей системы внутри эндоскопического зонда, эти зонды можно условно разделить на проксимально- и дистально-сканирующие. Проксимальные сканирующие зонды компактнее и дешевле, в то время как дистально-сканирующие зонды обладают гораздо более высокими скоростями сканирования и минимальным уровнем искажений на получаемых структурных изображениях.

Зонды прямого обзора выполняют сканирование исследуемого образца в передней полусфере. Катетеры такого типа часто имеют форму иглы. В целом зонды прямого обзора можно классифицировать по способу сканирования: на основе системы линз, пьезоволоконное сканирование, сканирование с электрическим или магнитным приводом [3].

Зонды бокового обзора являются наиболее распространенным типом катетеров для эндоскопической ОКТ.

Проксимальные сканирующие катетеры бокового обзора имеют моторизованные сканирующие узлы, расположенные вне катетера, т.е. на его проксимальном конце [3]. Это исключает необходимость наличия электрических проводов и механизмов сканирования внутри самого катетера. Оптическое волокно катетера обычно заключено внутри специальной катушки, которая передает крутящий момент, создаваемый двигателем постоянного тока по всей длине катетера, обеспечивая тем самым получение 360-градусного обзорного структурного ОКТ-изображения. Оптическая система, как правило, обычно состоит из одномодового световода, линзы с градиентным показателем преломления и зеркала для отклонения света в радиальном направлении.

Дистальные сканирующие эндоскопические зонды бокового обзора микромотора отличаются тем, что механизм сканирования расположен внутри самого катетера [3]. Такой подход обеспечивает более высокую скорость сканирования, чем у проксимально сканирующих зондов бокового обзора, к тому же, искажения на изображениях намного меньше.

Еще одним вариантом эндоскопических зондов бокового обзора являются катетеры с пьезоволоконным сканированием. В таких зондах пьезоэлектрический преобразователь вызывает механические изгибы оптического волокна, излучение из этого волокна через линзу с градиентным показателем преломления попадает на призму бокового обзора, оттуда на исследуемых биообъект. Такая конструкция весьма эффективна в сочетании с высокоскоростной ОКТ-системой, когда достигается баланс между скоростью приема и обработки изображений и скоростью сканирования зонда [3].

Таким образом, существует множество методов, используемых для обеспечения кругового сканирования, но ключевые из них основаны на использовании микромоторов, микроэлектромеханических систем или пьезоволоконного сканирования.

Список литературы

1. Endoscopic Optical Coherence Tomography: Technologies and Clinical Applications / M. J. Gora, M. J. Suter, G. J. Tearney, X. Li // *Biomedical Optics Express*. – 2017. – V. 8, Is. 5. – P. 2405 – 2444.
2. Пат. мод. 187692 Российская Федерация, МПК А61В 5/00, А61В 6/03, А61В 1/06, А61В 3/10 Устройство эндоскопической оптической когерентной томографии с коррекцией волнового фронта / Фролов С. В., Потлов А. Ю. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ». – № 2018144097 ; заявл.13.12.2018 ; опубл. 14.03.2019, Бюл. № 8.
3. Tissue Elasticity Estimation with Optical Coherence Elastography: Toward Mechanical Characterization of in vivo Soft Tissue / A. S. Khalil, R. C. Chan, A. H. Chau, B. E. Bouma, and M. R. K. Mofrad // *Annals of Biomedical Engineering*. – 2005. – V. 33. – P. 1631 – 1639.

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ФИЛЬТРАЦИИ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА В СИСТЕМЕ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Благодаря слежению за угловым положением транспортного средства на дороге, можно сказать, насколько опасно поведение водителя данного транспортного средства. Для отслеживания углового положения предложено использовать информационную систему измерения угловых координат наземных подвижных объектов. В данной статье рассмотрены примеры фильтрации цифрового сигнала, полученного на выходе системы измерения угловых координат, основанной на фазовом методе измерения. Оценено влияние на точность измерения двух типов фильтров.

Ключевые слова: фильтр, сигнал, цифровой, Баттерворт.

В целях наблюдения и определения опасных ситуаций при движении транспортных средств требуется разработка различных систем обеспечения безопасности на проезжих частях. Одной из возможных систем является информационная система измерения координат наземных подвижных объектов.

Рассмотрим возможность создания системы, основанной на фазовом методе измерения угловых координат. По сигналам таких датчиков можно сказать, какое поведение автомобилиста на дороге является безопасным, а какое наоборот, влечет за собой повышение опасной обстановки на дороге.

Чтобы понять, как работает данная система, разработана обобщенная структурная схема измерителя. Данная схема представлена на рис. 1.

Данная схема показывает, что измеритель угловых координат является по сути своей импульсной радарной системой, подключенной к фазовому детектору. В состав системы входят две антенны (А), передатчик (ПРД), два приемника (ПРМ), фазовый детектор (ФД) и в конце установлен сглаживающий фильтр (СФ), после которого уже сглаженный сигнал проходит дальнейшую обработку.

Целью данной работы является сравнение сигнала с выхода фазового детектора, обработанного различными сглаживающими фильтрами.

На рисунке 2 представлен сигнал на выходе перемножителя фазового детектора. Этот сигнал содержит составляющую с медленно меняющейся фазой $\Delta\varphi$ и составляющую удвоенной частоты.

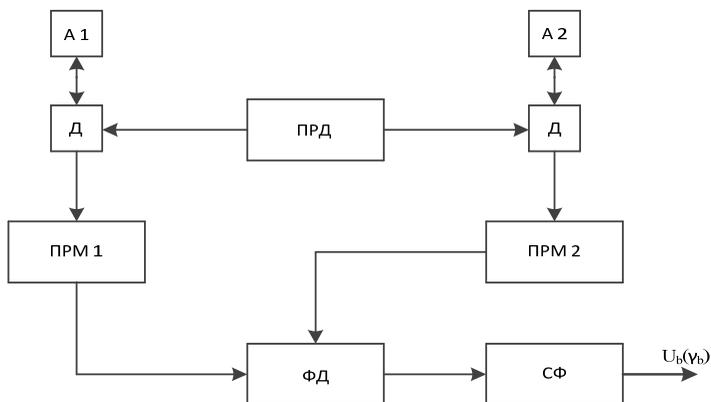


Рис. 1. Обобщенная структурная схема

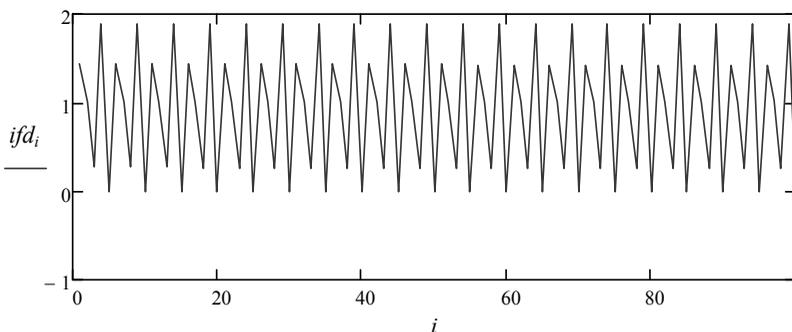


Рис. 2. Сигнал на выходе умножителя ФД

Для того чтобы удалить сигнал удвоенной частоты, используется сглаживающий фильтр. Сравним два сглаживающих фильтра: фильтр со скользящим окном и фильтр Баттерворта третьего порядка. Сравнение этих двух фильтров будет происходить по величине ошибки изменения угла. Величина ошибки измерения является главной характеристикой рассматриваемой системы.

Рассмотрим сглаживающий фильтр со скользящим окном. Фильтр скользящего среднего или фильтр со скользящим окном – это фильтр с конечной импульсной характеристикой, т.е. на отфильтрованное значение влияет только N последних измеренных значений. Для моделирования было выбрано окно размером 100 отсчетов и да-

лее проводилось скользящее усреднение в соответствии со следующей формулой:

$$U_{pk} = \frac{1}{P} \sum_{n=k}^{k+p} u_{\text{ФД},n}. \quad (1)$$

Далее было определено значение угла на выходе ФД после фильтра со скользящим окном

$$\gamma_{pk} = -57,3 \frac{\lambda}{2\pi d} a \cos(U_{pk}) + 7,15. \quad (2)$$

На рисунке 3 представлены два графика: график действительного значения угла γ_i и график измеренного значения угла γ_{pk} на выходе ФД и после сглаживающего фильтра.

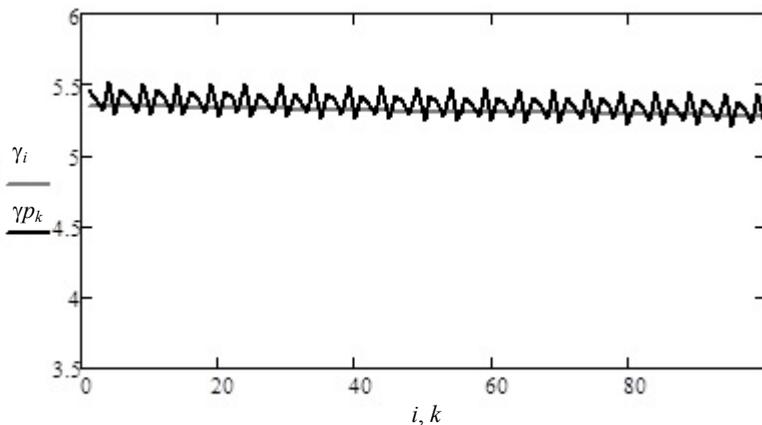


Рис. 3. Действительное и измеренное значение угла

Как видно из рис. 3, оцененные реальные значения углов близки к идеальным рассчитанным значениям, но для повышения точности системы, и учитывая, что неотфильтрованная составляющая все еще достаточно велика, был рассчитан сглаживающий фильтр в виде фильтра Баттерворта третьего порядка.

При выборе фильтра Баттерворта расчет коэффициентов полиномов ведется из стремления обеспечить максимально плоскую АЧХ фильтра. Коэффициенты фильтра Баттерворта: $a_0 = 1$; $a_1 = -1,483$; $a_2 = 0,9296$; $a_3 = -0,2033$; $b_0 = 0,03047$; $b_1 = 0,0914$; $b_2 = 0,0914$; $b_3 = 0,03047$.

Алгоритм работы сглаживающего фильтра Баттерворта представлен формулой (3)

$$U_{b_j} = \sum_{m=0}^3 (b_m u_{\text{фд}_{j-m}}) - \sum_{m=1}^3 (a_m U_{b_{j-m}}). \quad (3)$$

Оценка значения угла после фильтра Баттерворта проводилась в соответствии с выражением (4)

$$\gamma_{b_j} = -57,3 \frac{\lambda}{2\pi d} a \cos(U_{b_j}) + 7,15. \quad (4)$$

На рисунке 4 показаны значения действительного угла и измеренного угла, которые сглажены с помощью фильтра Баттерворта. Рисунок 4 показывает, что неотфильтрованная составляющая напряжения стала меньше. Таким образом, фильтр Баттерворта позволил уменьшить ошибку оценивания угла.

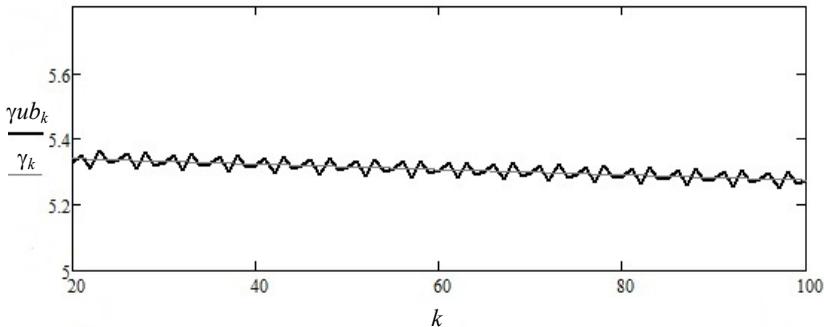


Рис. 4. Значения идеального и реального угла в увеличенном масштабе

Анализируя все вышеперечисленное, можно прийти к выводу, что сглаживающий фильтр Баттерворта намного лучше сглаживает неотфильтрованную составляющую напряжения, чем фильтр со скользящим окном. После фильтра Баттерворта почти не наблюдается пульсирующей части составляющей с удвоенной частотой, что способствует уменьшению ошибки оценивания угла. В дальнейшем необходимо проверить работу в такой системе фильтра Чебышева, а также другие варианты фильтра Баттерворта.

Список литературы

1. Сысоева, С. Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности. Часть 1 / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2006. – № 8. – 158 с.
2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах: монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. Панасюк, Ю. Н. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник ТГТУ. – 2017. – № 4. – С. 595–596.
4. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics : Conference Series. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112 (2018).
5. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.

**Черешнев В. О., Кулешов И. В.,
Романенко И. М., Шемонаев И. В.**

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ СИГНАЛА

Аннотация. В данной работе представлена нейронная сеть для определения формы сигналов, имеющая два скрытых слоя из пяти нейронов, а также пять входных и выходных нейронов. Нейроны сигмовидного типа обучены по алгоритму Левенберга–Марквардта.

Ключевые слова: нейронная сеть, радиотехника, обработка сигналов.

Существующие приборы для исследования параметров сигнала в наше время представляют собой обширный класс измерительных средств. Порой возникает необходимость определить не только амплитуду, частоту повторения, длительность, но и форму исследуемого

сигнала. Обычно, для этих целей используют универсальные приборы – осциллографы и анализаторы спектра, позволяющие визуально отслеживать изменение электрических процессов во времени.

Когда не требуется визуального наблюдения сигнала, а необходимо только определить его форму, возможно использование алгоритмических средств, например, специально обученной для решения данной задачи нейросети [1].

Нейросеть – это алгоритм, а также его аппаратная или программная реализация, сделана, основываясь на биологических нейронных сетях – сетях нервных клеток живого организма.

Нейронная сеть представляет комплекс соединенных и взаимодействующих между собой простейших процессоров искусственных нейронов. Процессоры подобны биологическим нейронам, намного проще тех, что используются в современных ЭВМ. В составе нейросети такой процессор периодически получает, обрабатывает и передает сигналы на другие процессоры.

Нейросеть представляет собой систему взаимодействующих друг с другом искусственных нейронов или процессоров. Однако крупная сеть совокупности нейронов позволяет выполнять довольно сложные задачи различных направлений.

Нейрон – функциональная вычислительная единица, которая проводит простые операции над входным пакетом данных, после чего посылает его дальше по системе. Когда нейросеть имеет большое число процессоров, уместно ввести понятие слоя. Существует входной слой, который получает информацию по входам нейронной сети, скрытые слои, производящие обработку входных данных и выходной слой. В данной работе использовались два слоя с пятью нейронами каждый, такое количество позволило сохранить баланс между быстродействием, энергозатратностью и точностью нейронной сети [2].

Каждый нейрон имеет функцию активации – способ нормализации входных данных. В настоящей работе использовалась самая распространенная функция активации – сигмоид с диапазоном значений $0 \dots 1$.

После проектирования нейронной сети наступает обучение нейросети. Технологическое обучение нейросети состоит в поиске коэффициентов связей (весов) среди процессоров. В ходе обучения нейросеть умеет находить сложные связи среди входных и выходных данных, а также выполнять обобщение.

Обучение происходило по алгоритму Левенберга–Марквардта, предназначенному для оптимизации регрессионных моделей. Задается выборка для обучения, представляющая из себя множество свободных

пар переменной $x \in X^M$, а также зависимые переменные $y \in Y^M$. Задана функциональная зависимость, представляющая собой регрессионную модель $y = f(w, x_n)$. Параметр w является вектором весовых коэффициентов. Требуется найти такое значение вектора w , которое бы доставляло локальный минимум функции ошибки

$$E_D = \sum_{n=1}^N (y_n - f(w, x_n))^2.$$

Перед началом работы алгоритма задается начальный вектор весовых коэффициентов w .

На каждом шаге итерации этот вектор заменяется на вектор $w + \Delta w$, $w = w + \Delta w$. Для оценки приращения Δw используется линейное приближение функции $f(w + \Delta w, x) \approx f(w, x) + J\Delta w$, где J – якобиан функции $f(w, x_n)$ в точке w . Здесь вектор весовых коэффициентов $w = [w_1, \dots, w_R]^T$. Приращение Δw в точке w , доставляющее минимум E_D , равно нулю. Поэтому для нахождения последующего приращения Δw приравниваем нулю вектор частных производных E_D по w . $E_D = |y - f(w + \Delta w)|^2$, где и $f(w + \Delta w) = [f(w + \Delta w, x_1), \dots, f(w + \Delta w, x_N)]^T$. Таким образом, чтобы найти значение Δw , нужно решить систему линейных уравнений $\Delta w = (J^T J + \lambda I)^{-1} J^T (y - f(w))$, где I – единичная матрица. Этот параметр назначается на каждой итерации алгоритма. Если значение ошибки E_D убывает быстро, малое значение λ сводит этот алгоритм к алгоритму Гаусса–Ньютона [3].

В результате проектирования и обучения получена нейронная сеть для определения формы входного сигнала, структурная схема которого представлена на рис. 1.

Таким образом, была спроектирована нейросеть для определения формы входного сигнала, имеющая два скрытых слоя из пяти нейронов, а также пять входных и выходных нейронов сигмовидного типа, обученных по алгоритму Левенберга–Марквардта с точностью $R^2 = 0,998$.

Дальнейшая работа будет связана с расширением аналитических возможностей нейросети, а именно, определением таких параметров, как девиация, зашумленность и т.д., важно отметить, что разрабатываемый комплекс для определения параметров сигнала может состоять как из одной нейронной сети, так и из нескольких отдельных сетей, работающих в совокупности.

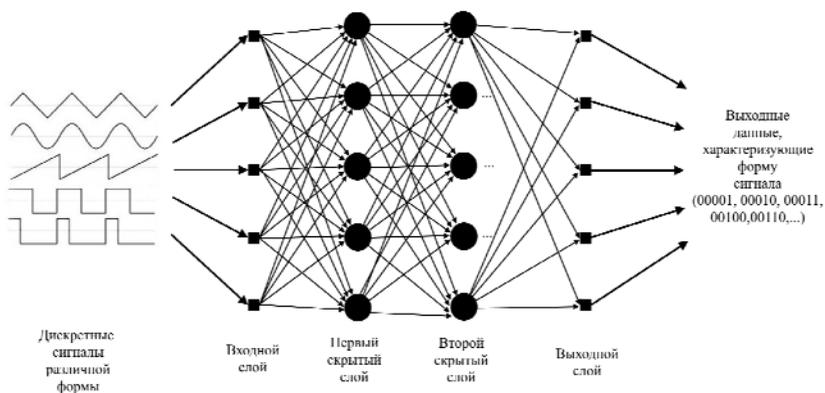


Рис. 1. Структурная схема нейронной сети для определения формы входного сигнала

Список литературы

1. Св-во о гос. рег. программы для ЭВМ Федеральной службой по интеллектуальной собственности № 2019665799. Зарег. в реестре программ для ЭВМ 28.11.2019. Нейронная сеть для определения формы сигнала / И. В. Кулешов, И. М. Романенко, И. А. Шемонаев, В. О. Черешнев .
2. Ткалич, С. А. Основания и возможности использования искусственных нейросетей в системах прогнозирования // Электротехнические комплексы и системы управления / С. А. Ткалич, Е. М. Васильев. – 2008. – № 2. – С. 37–38.
3. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, С. В. Петров, Т. И. Чернышова // Вестник ТГТУ. – 2016. – Т. 22, № 3. – С. 374 – 380. DOI: 10.17277/vestnik.2016.03.pp.374-380.
4. Synthesisof Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its ynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.
5. Synthesisof Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.

Черешнев В. О., Родионова И. Э., Проскурин С. Г.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СТРУКТУР БИООБЪЕКТА ПОСРЕДСТВОМ ЦИФРОВОГО ИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА ИНТЕНСИВНОСТИ ПИКСЕЛЕЙ

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследования, в ходе которого были обработаны структурные изображения кожи и подкожных кровеносных сосудов человека *in vivo*, полученные при помощи ОКТ-системы на базе интерферометра Майкельсона.

Ключевые слова: оптическая когерентная томография, обработка изображений, гамма-распределение, спекл-структуры.

Оптическая когерентная томография (ОКТ) используется в медико-биологических исследованиях для построения высокоточных изображений биообъектов в реальном времени. Такие изображения дают исчерпывающую информацию о морфологических особенностях исследуемого образца, а также обеспечивают понимание процессов, происходящих на клеточном уровне. Именно благодаря такой точности и скорости построения структурных изображений ОКТ занимает особое место в биологических исследованиях [1].

Визуализация подкожных структур биообъекта – актуальное направление биофизических исследований. Пространственного разрешения современных оптических систем недостаточно для исследований субклеточного уровня, однако есть некоторые свидетельства того, что анализ изображений спекл-структур ОКТ позволяет извлечь дополнительную информацию о клетках тканей *in vivo* [2, 3].

Целью настоящей работы является исследование закономерностей структурных ОКТ-изображений при помощи анализа распределений интенсивности пикселей в различных частях изображения.

В качестве объекта исследования выбраны изображения слоев кожи человека с подкожными кровеносными сосудами *in vivo*, полученные при помощи ОКТ-системы на базе интерферометра Майкельсона.

Оптические свойства тканей и кровеносных сосудов отличны, следовательно, им соответствует различная интенсивность пикселей конечного ОКТ-изображения [4]. Для проверки этой гипотезы был

проведен анализ интенсивностей пикселей при помощи построения гистограмм распределений плотности вероятностей.

Для построения гистограммы использованы области одинакового размера, соответствующие поверхностным слоям кожи и кровеносным сосудам. Для минимизации погрешности гистограммы были усреднены.

Для количественного описания формы полученных гистограмм, была проведена аппроксимация методом наименьших квадратов функцией гамма-распределения, являющаяся обобщением распределения X_i квадрат и, соответственно, экспоненциального:

$$x_n^2(x) = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{a}{2}}}{\Gamma\left(\frac{a}{2}\right)} x^{\frac{a}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}},$$

где n – число степеней свободы $x = \sum_{i=1}^n X_n^2$,

$$f(x, a, \beta) = x^{a-1} \frac{1}{\Gamma(a)} \beta^a e^{-\beta x}$$

где Γ – гамма-функция Эйлера:

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} x^{a-1} e^{-x} dx.$$

Функция гамма-распределения определяется параметрами формы и размера α и β . В качестве основного параметра метрики обнаружения свойств ткани использовалось отношение α/β .

Полученные в результате аппроксимации графики представлены на рис. 1.

Полученные гамма-распределения отражают четкие различия интенсивности пикселей структурного ОКТ-изображения и среднего значения α/β гамма-распределения, которое составило, $\alpha/\beta = 2,7 \cdot 10^{-4}$ для области кровеносного сосуда и $\alpha/\beta = 7,0 \cdot 10^{-4}$ для участков кожи, при этом точность аппроксимации составила $R^2 = 0,95$.

При помощи алгоритма «скользящего ящика» исследовалась область перехода участков кожи к кровеносному сосуду. Полученная

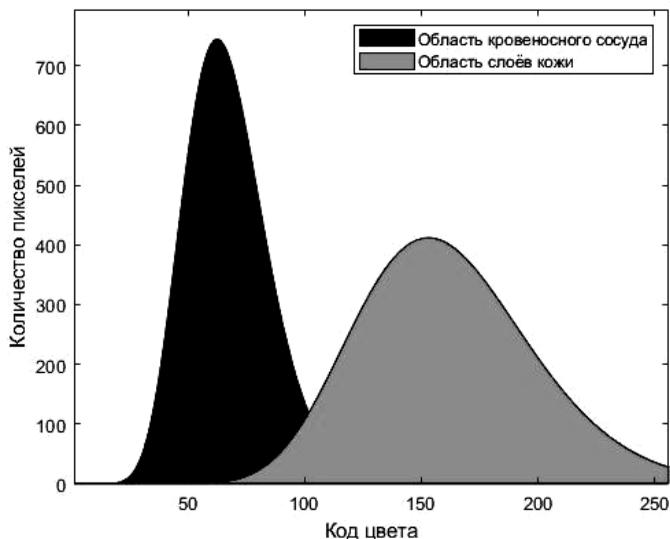


Рис. 1. Гистограмма интенсивности пикселей структурного ОКТ-изображения, аппроксимированная методом наименьших квадратов, функцией гамма-распределения. Черному цвету соответствует область кровеносного сосуда, серому – участков кожи

гистограмма интенсивностей пикселей отражала два пика распределения, соответствующего области кожи и сосуда. С продвижением скользящего ящика уменьшалась амплитуда соответствующего пика. Важно отметить, что площадь соответствующего распределения равна площади исследуемой области, что в дальнейшем позволит создавать высокоточные дифференцированные структурные изображения.

В результате исследования было выявлено, что каждой структуре биообъекта в ОКТ- и УЗИ-изображениях соответствует пик распределения на гистограмме интенсивности пикселей, имеющий форму, близкую к правильной форме гамма-распределения.

Дальнейшая работа будет связана с обработкой и сравнением 2D- и 3D-изображений, а также созданием автоматизированного программного комплекса, основанного на результатах приведенных вычислений. Дальнейшее развитие представленного алгоритма позволит создать дифференцированные структурные изображения подкожных кровеносных сосудов человека и животных *in vivo*.

Список литературы

1. Дифференциация структур кожи, кровеносных сосудов и крови посредством построения вариационной матрицы ОКТ-изображения / В. О. Черешнев, И. М. Романенко, И. В. Кулешов, С. Г. Проскурин // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 10-2. – С. 319 – 323;
2. Проскурин, С. Г. Визуализация кровеносных сосудов при помощи оптической когерентной томографии / С. Г. Проскурин, С. В. Фролов // Медицинская техника. – 2012. – № 3. – С. 9 – 14.
3. Построение структурного изображения биообъекта с использованием растрового усреднения в оптической когерентной томографии / С. Г. Проскурин, А. Ю. Потлов, К. И. С. Галев, С. Н. Абдулкарим // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 9. – С. 129 – 134.
4. Lindenmaier Andras A., Conroy Leigh, Farhat Golnaz, DaCosta Ralph S., Flueraru Costel, vitkin I. Alex. Texture analysis of optical coherence tomography speckle for characterizing biological tissues in vivo. Opt. Lett. – 2013. – V. 38. – P. 1280 – 1282.

Черешнев В. О., Родионова И. Э., Проскурин С. Г.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ ПРИ ПОМОЩИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследования, в ходе которого была проведена обработка первого отведения сигнала ЭКГ во временной и спектральной областях, выявившая частоты, соответствующая зубцам *P* и *T*.

Ключевые слова: электрокардиограмма, дискретное преобразование Фурье, обработка сигналов, спектральный анализ.

Основа электрокардиографии – это регистрация биоэлектрических потенциалов, возникающих при работе сердца. Для этого используется электрокардиограф, улавливающий разницу электрических био-

электрических потенциалов, возникающих в различных отделах сердца, во время его работы, в моменты сокращения и расслабления. В новейших электрокардиографах эта информация записывается и подвергается дальнейшей обработке в цифровом виде, что повышает точность и выявляет новые особенности сигналов [1].

Ключевыми задачами анализа электрокардиограмм является анализ формы зубцов, обнаружение комплексов, а также спектр сигнала, позволяющий обнаруживать мельчайшие изменения в работе сердечно-сосудистой системы. В этой связи актуально применение спектрального анализа электрокардиограммы при помощи дискретного преобразования Фурье.

Целью настоящей работы является: 1) обработка сигнала ЭКГ во временной области; 2) Фурье-преобразование и построение спектра сигнала; 3) выявление закономерностей гармонических составляющих спектра.

Для исследования был выбран оцифрованный сигнал первого отведения стандартной ЭКГ-системы, содержащий помехи и наводки.

Присутствие различного рода шумов на исходных данных временного ряда негативно отражается на результатах спектрального анализа в виде высокочастотных помех, что мешает дальнейшей обработке и определению зависимостей между частотами спектра и зубцами электрокардиограммы. Для минимизации шумов и наводок предложена реализация первичной обработки во временной области – сглаживание кардиосигнала полиномами Лагранжа–Сильвестра:

$$r(\lambda) = \sum_{k=1}^s \sum_{p=0}^{m_k-1} \frac{1}{(m_k - p - 1)!} \left[\frac{\partial^{m_k - p - 1}}{\partial \lambda^{m_k - p - 1}} \frac{f(\lambda)}{\Psi_k(\lambda)} \right]_{\lambda=\lambda_k} \frac{\Psi(\lambda)}{(\lambda - \lambda_k)^{p+1}},$$

где $\Psi_k(\lambda) = \frac{\Psi(\lambda)}{(\lambda - \lambda_k)^{m_k}}$, удовлетворяющий условиям:

$$r(\lambda_k) = f(\lambda_k), r'(\lambda_k) = f'(\lambda_k), \dots, r^{(m_k-1)}(\lambda_k) = f^{(m_k-1)}(\lambda_k), \\ (k = 1, 2, \dots, s; m_1 + m_2 + \dots + m_s = m),$$

$f(\lambda)$ – функция, которая определена на спектре матрицы A ; $\lambda(k)$ – нули минимального полинома $\Psi(\lambda)$ матрицы A ; m_k – степень полинома;

После минимизации шумовой компоненты было реализовано разложение электрокардиосигнала в спектр при помощи быстрого преобразования Фурье:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-\frac{j\pi nk}{N}} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \left[\cos \frac{2\pi nk}{N} - j \sin \frac{2\pi nk}{N} \right],$$

где $0 \leq k \leq N-1$, N – количество перемножения комплексных чисел.

Результаты спектрального анализа представлены на рис. 1.

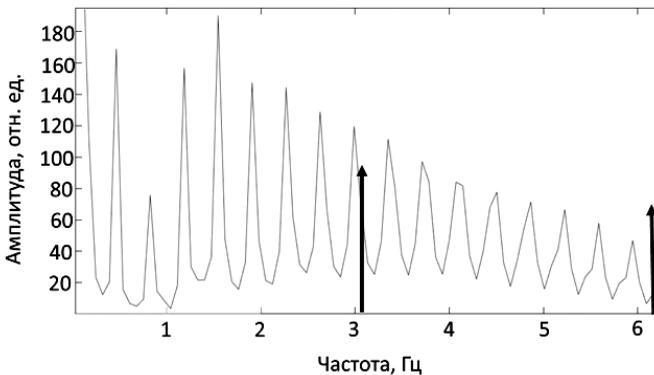


Рис. 1. Спектр электрокардиосигнала I отведения цифрового ЭКГ

На полученном спектре можно выявить более 20 гармонических составляющих, что недопустимо много для выявления зависимостей между частотами спектра и зубцами электрокардиограммы. Более точная цифровая регистрация показала, что комплекс QRS представляет собой не треугольник, а δ -функцию. Это позволяет разделить сигнал две части во временной области. Дискретное преобразование Фурье делается для двух зависимостей без пика QRS и только для QRS. Последний оказывает наибольшее влияние на результаты спектрального анализа и дает 20 – 25 пиков в спектре.

В спектре обработанного сигнала ЭКГ без зубца R присутствуют две гармонические составляющие с частотами: $\omega_1 = 3,12$ Гц и $\omega_2 = 6,21$ Гц. Предположительно, гармоника с частотой ω_1 соответствует зубцу P кардиограммы, в то время, как гармоника с частотой ω_2

зубцу T [2]. Так же, отношение амплитуд пиков спектра соответствует отношению амплитуд зубцов P и T на исходном сигнале, что также подтверждает соответствие полученных частот спектра и зубцов электрокардиограммы. Важно отметить, что частоты спектра обработанного сигнала примерно кратны 2. Подобное отношение было получено ранее и для мышечной подвижности у простейших организмов [3].

Полученный в ходе исследования результат свидетельствует о том, что импульсы деполяризации предсердий и реполяризации желудочков, генерируемые в атриовентрикулярном и синусовом узле, имеют схожую природу и могут быть связаны друг с другом [2]. Зубцам P и T электрокардиограммы соответствуют две гармонические составляющие, а следовательно, процессы, соответствующие данным зубцам, можно описать автоволновой моделью, применяемой и для других биомедицинских исследований, где частоты спектра примерно кратны двум [3].

Важно отметить, что полученные результаты соответствуют критериям адекватности:

$$R^2 = 1 - \frac{S^2_{ошибка}}{S^2_{общая}} > 0,96 ,$$

где дисперсия вычисляется следующим образом:

$$S_a^2 = \frac{1}{n - (k + 1)} \sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2 .$$

Проведенные расчеты F -теста (критерий Фишера) также подтвердили адекватность модели результатам полученных дискретных данных.

Кроме этого, полученные в ходе исследования спектры электрокардиографических сигналов восстановлены при помощи обратного преобразования Фурье. Полученные сигналы с хорошей точностью ($R^2 = 0,95$) соответствовали исходным данным как по амплитуде, так и по фазе.

Особенностью данного подхода при спектральном анализе кардиограммы является нахождение частот, соответствующих узкому и высокому пику QRS отдельно от основного ЭКГ-сигнала. Очевидно, что ввиду острой формы зубца во временной области, практически

δ -функция, ему соответствует слишком сложная структура в спектральной области.

Дальнейшие исследования будут связаны с обработкой сигналов ЭКГ во временной области с последующим выявлением зависимостей между зубцами электрокардиограммы и пиками спектра, а также построения АСППР врача для выявления взаимосвязей между патологиями сердечно-сосудистой системы и полученными гармоническими составляющими.

Список литературы

1. Чернышова, Т. И. Применение математического моделирования при реализации методов оценки и повышения метрологического ресурса аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Вестник ТГТУ. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 381 – 387.

2. Проскурин, С. Г. Исследование частотных характеристик электрокардиограммы при помощи дискретного преобразования Фурье / С. Г. Проскурин, В. О. Черешнев // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 8 – С. 89 – 93.

3. Проскурин, С. Г. Спектральный анализ автоколебательной подвижности в изолированном тяжёлом плазмодии *Physarum polycephalum* / С. Г. Проскурин, Т. И. Авсиевич // Биофизика. – 2014. – Т. 59, № 6. – С. 1143 – 1150.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСНАБЖЕНИИ

Аннотация. Рассмотрены различные системы накопления энергии для возможной реализации в электросетях.

Ключевые слова: аккумуляция, энергия, электросети, СНЭ, накопление, цифровизация, энергоснабжение.

Одним из аспектов развития энергетики является экономия энергоресурсов и сокращение потерь. Территориальные и климатические особенности Российской Федерации не всегда позволяют провести распределительные сети в необходимые места, обеспечивая экономическую и экологическую эффективность. Для электроснабжения изолированных территорий сегодня большую актуальность приобретают альтернативные источники электроэнергии, которые имеют неравномерный график выработки энергии. А в системах распределения электроэнергии немаловажную роль играют графики нагрузок и протяженные сети низкого напряжения. Влияние всех этих факторов можно решить внедрением систем накопления энергии (СНЭ). В этом случае выбор рациональной СНЭ для решения конкретной задачи имеет важнейшее значение, в противном случае полной эффективности эксплуатации достичь не получится.

Стоит отметить, что так или иначе все СНЭ относительно безопасны в использовании. Однако применение некоторых видов накопителей в непригодных условиях (как например инерционные накопители) могут привести к колоссальным повреждениям оборудования и близлежащих объектов.

1. Сводная таблица рассматриваемых типов накопителей энергии

Тип накопителя	Удельная емкость	Выходная мощность
Сверхпроводящие индуктивные накопители (СПИН)	900 Вт·ч/кг	300 кВт
Инерционные ИН	500 Вт·ч/кг	Зависит от генератора
Комбинированные системы из ионистеров и химических аккумуляторов	До 270 Вт·ч/кг	Зависит от химического состава

По этой причине было принято решение классифицировать накопители по возможным локациям использования.

Сверхпроводящие накопители имеют самую большую энергоемкость по отношению к занимаемому пространству, а также наибольший КПД. Это обусловлено тем, что в их основе лежит принцип запасаения циркулирующей по сверхпроводнику электрической энергии. За счет практически полного отсутствия активного сопротивления плотность запасаемой энергии имеет очень высокие показатели (в среднем 50 кДж/м^3). Также эти накопители не преобразуют электроэнергию в другие виды (химическую, механическую), тем самым доводя коэффициент полезного действия этой машины до 98%. Однако в данном устройстве возникают значительные электродинамические воздействия, что ограничивает и удорожает создание таких накопительных систем. Стоит отметить, что при повреждении сверхпроводника, энергия, накопленная в системе, высвобождается в виде Джоулева тепла. Из-за огромных токов выделяемая теплота провоцирует взрыв и выброс охлаждающего вещества в атмосферу. Также ограничения вносят скорости изменения магнитного поля при отдаче энергии на нагрузку, увеличение отдаваемой мощности уменьшает КПД машины. В предельных нагрузках КПД доходит до 75%. Именно по этим причинам такие системы не приобрели распространения. Но их все еще возможно будет использовать, например, на АЭС для устранения неравномерности графика суточной нагрузки.

Наиболее изученными накопителями на сегодняшний день являются литий-ионные аккумуляторы (ЛИА). Их уже достаточно широко применяют в различных областях. В сравнении с металлгидридными аккумуляторами они в меньшей степени подвержены температурному снижению эффективности, имеют хорошие показатели удельной емкости (в среднем $150 \text{ Вт}\cdot\text{ч/кг}$), не уменьшают емкости при высоких токах разряда. ЛИА уже используются в некоторых сетях для обеспечения электричеством наиболее важных объектов в случае аварии. Однако комбинированные системы ЛИА с ионисторами также могут быть использованы на длинных линиях для поддержания уровня напряжения. Суперконденсатор позволит в наибольшей степени сгладить выпрямленный ток и тем самым увеличит срок службы данной системы. Также высокий потенциал имеют титан-литиевые аккумуляторы, но по причине малой изученности пока не имеют экономической целесообразности в использовании.

Инерционные накопители энергии основаны на работе маховика. Имеют очень высокую скорость вращения (около $10\,000 \text{ об/мин}$), тем самым представляя большую угрозу разрыва диска. Изначально такие

системы предназначались для экономии топлива в автомобилях. Однако широкого применения из-за массивности не получили. На данный же момент существуют ИНЭ, способные накапливать до 1,8 МДж/кг энергии со средним КПД 98%. Стоит учесть, что речь идет о чисто механической энергии и при использовании таких маховиков в реальных электросетях придется использовать двигатель-генераторную систему, что может сильно уменьшить КПД машины. Наиболее перспективное применение такие СНЭ получают в сглаживании неравномерности потребления.

Стоит упомянуть выбор накопителей для альтернативных источников энергии, находящихся в отдалении от линий электропередач. Для данной системы нежелателен высокий ток заряда. По причине своей особенности сверхпроводниковый накопитель энергии будет наиболее подходящим, так как он может запитываться малыми токами.

Вывод: рассмотренные системы накопления энергии имеют перспективу использоваться для различных целей электроэнергетического комплекса. Анализ информации позволил наиболее эффективно распределить различные типы СНЭ в системах электроснабжения. Наиболее приемлемым вариантом для замены гидроаккумулирующих электростанций как варианта сглаживания неравномерности, будет являться кластер из инерционных накопителей. Они обладают достаточной мощностью и приемлемой энергоемкостью, при этом требуя гораздо меньше капиталовложений. СПИН системы могут использоваться для сглаживания неравномерности в контролируемых условиях, а также являться отличным вариантом для длительного хранения аварийного запаса энергии. Литиевые по причине наибольшей распространенности уже используются во многих системах. Для покрытия провала напряжения на низковольтных линиях такие СНЭ подходят наиболее хорошо. Стоит отметить, что аккумулирующие системы на данный момент изучены достаточно плохо и не все из них готовы выйти в массовое производство, однако дальнейшее изучение позволит более ясно понять какие системы требуют наиболее тщательной доработки.

Список литературы

1. Степаненко, В. П. Выбор накопителей энергии / В. П. Степаненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 228 – 234.
2. Бурман, А. П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем : учебное пособие для вузов / А. П. Бурман, Ю. К. Розанов, Ю. Г. Шакарян. – М. : Изд-во МЭИ, 2012.

3. Елистратов, В. В. Использование возобновляемой энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. В. Елистратов ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – СПб., 2008.

4. Гулиа, Н. В. Супермаховики – из суперкарбона! / Н. В. Гулиа // Изобретатель-рационализатор. – 2005. – № 12.

Кустов А. Н., Зацепина В. И.

Липецкий государственный технический университет
(г. Липецк, Россия)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА С ИНТЕГРАЦИЕЙ АИЭ

Аннотация. Проанализирована существующая система электроснабжения, выявлены существующие проблемы и предложена новая система электроснабжения.

Ключевые слова: интеллектуальная энергетика, эффективность, надежность.

Введение. В настоящее время та система электроэнергетики, которая сложилась в России на данный момент, была создана около пятидесяти лет назад, из-за этого возникает ряд проблем и сложностей с подключением и управлением системой при внедрении альтернативных источников энергии. Как известно, традиционная энергетика считается централизованной, а нетрадиционная (альтернативная) энергетика – децентрализованная. Также, система имеет равномерную генерацию, а другая – неравномерную. Вследствие этого возникает ряд проблем по совмещению традиционной и нетрадиционной энергетики.

Основная часть. Пути решения данной проблемы лежат в реверсировании сложившейся устаревшей системы, которая существует на сегодняшний день, путем интернационализации интеллектуальной системы. Ниже рассмотрена старая система электроснабжения (рис. 1) и предлагаемая новая система (рис. 2), с помощью которой возможно будет совместить традиционную и нетрадиционную энергию и получить возможность более активно внедрять системы альтернативной энергетики на своей территории, а также при переизбытке продавать эту энергию в сеть.

Как видно из рис. 1, есть подразделения, которые вырабатывают электроэнергию, передают ее в сеть. На следующем этапе энергосбытовые компании, которые выступают в роли перекупов, продают энергию, выставляют счета потребителям и берут свою долю за все эти

манипуляции. И есть потребители, которые на данный момент могут только покупать электроэнергию, но ни в коем случае не отдавать или продавать ее в случае собственной выработки с помощью альтернативных источников электроэнергии (ветряков или солнечных панелей).

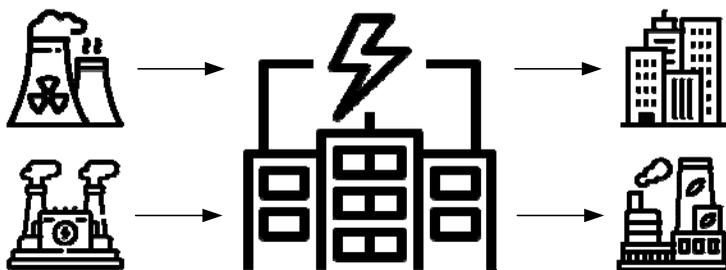


Рис. 1. Традиционная централизованная система электроснабжения

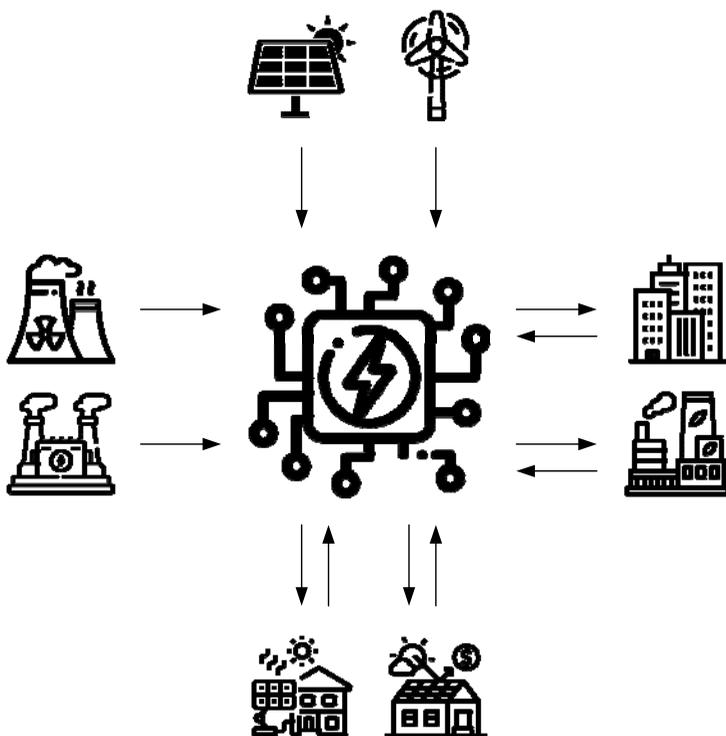


Рис. 2. Новая предлагаемая система электроснабжения

Как видно из рис. 2, с помощью интеллектуальной системы энергетики мы сможем соединить несоединимое, а именно: равномерную генерацию от ТЭС, ГЭС, АЭС, и неравномерную от ветроустановок и солнечных панелей, а также соединить две разные системы: централизованную и децентрализованную. Внедряя новую систему, мы добьемся более активного внедрения АИЭ на разных уровнях и получим возможность сглаживать пики нагрузок и недогрузок в ночное время за счет интеллектуальной установки аккумуляторных батарей, из-за чего у нас исчезает дисбаланс системы. У потребителей появляется возможность экономить и продавать электроэнергию в сеть. Более подробно эта модель представлена на рис. 3.

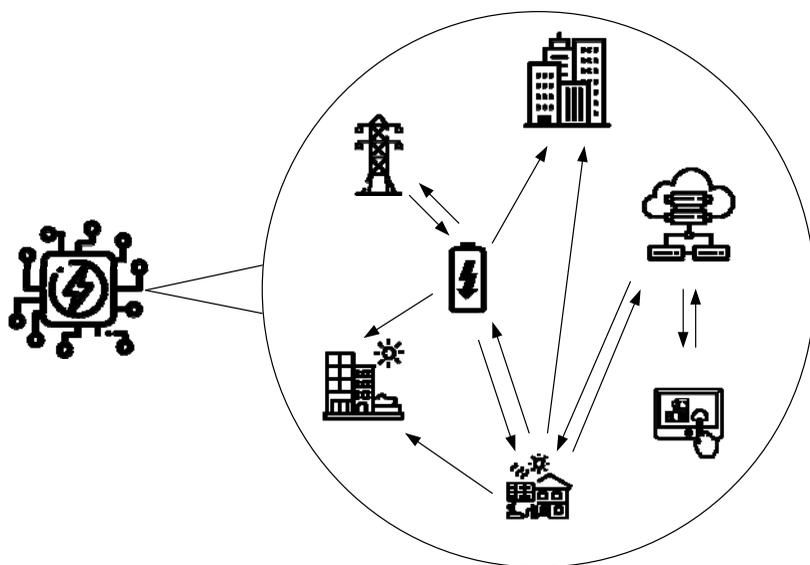


Рис. 3. Подробная схема новой системы

Эта система подразумевает, что потребитель покупает оборудование, производит его наладку и подключает счетчики как на потребление, так и на отдачу, производит установку программного обеспечения и, после регистрации на сервере, будет получать денежные средства за продажу электроэнергии в сеть за тот объем электричества, которое счетчик передаст на сервер. Установленные АИЭ будут вырабатывать электроэнергию, которая будет отдаваться в сеть, а ее излишек накапливаться в аккумуляторах и в часы пик отдавать эту электроэнергию

гию обратно в сеть. Также в точное время эти аккумуляторы будут брать на себя переизбыток ЭЭ из сети, что в общей сумме позволит свести дисбаланс в системе к минимуму.

Закключение. Переход от старой системы ЭС позволит в полной мере внедрять АИЭ. При переходе от одной системы на другую, будут пересмотрены многие законодательные акты и распоряжения, которые на данный момент тормозят развитие ВИЭ. Получаем больший интерес потребителей в данной концепции за счет возможности продажи электроэнергии, а также интерес со стороны организаций, так как снижаем дисбаланс электросетевого комплекса.

Список литературы и источников

1. РОСНАНО [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.rusnano.com> (дата обращения: 23.07.2019).
2. BP Stat Review of World Energy [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.bp.com> (дата обращения: 23.07.2019).
3. Развитие альтернативной энергетики и сфера энергосбережения в мире // Бюллетень иностранной коммерческой информации. – 2009. – № 51. – С. 12.
4. Zatsepina, V. I. Analysis of load indicators power grid complex when feeding differentiated consumer / V. I. Zatsepina, E. P. Zatsepin, O. Ya. Shachnev // International conference on industrial engineering, applications and manufacturing. Publisher: Prom-Engineering, 2019. – P. 8742998.
5. О развитии альтернативных источников энергии в странах Ближнего и Среднего Востока // Бюллетень иностранной коммерческой информации. – 2009. – № 127. – С. 14.
6. Kustov, A. N. Modern potential and economic opportunities of managing alternative energy sources / A. N. Kustov // Problèmes et perspectives d'introduction de la recherchescientifiqueinnovante. – Bruxelles : Belgique, 2019. – V. 2. – P. 82 – 87.
7. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / П. П. Безруких и др. – СПб. : Наука, 2002. – 314 с.

Ловчий В. Р.¹, Зацепин Е. П.²

¹Филиал АО «СО ЕЭС» Липецкое РДУ (г. Липецк, Россия),

²Липецкий государственный технический университет
(г. Липецк, Россия)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА МОЩНОСТИ В ПОЛУАВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация. Рассмотрена проблема осуществления энергосбережения в локальных системах электроснабжения, в которых возобновляемые источники электроэнергии используются как резервный источник питания. При этом резервирование не будет оправдано в полной мере, т.к. для такого рода источников объем накопленной энергии зависит от погодных условий (отсутствие ветра, ночь и т.п.). Решение данной проблемы может быть осуществлено за счет усиления резервирования путем установки современных накопителей электроэнергии.

Ключевые слова: энергоэффективность; электроснабжение, полуавтономные системы электроснабжения, резервирование, накопление электроэнергии, аккумуляторные батареи.

При дефиците активной мощности в определенных энерго-районах чаще всего встает вопрос о необходимости резервирования единственного источника электроэнергии, которым, как правило, является отпаечная линия тупиковой распределительной подстанции. Наиболее оптимальным вариантом в данном случае является использование альтернативных источников электроэнергии.

Актуальность решения данной проблемы с каждым годом возрастает все больше, т.к. появляется необходимость в построении потребительских подстанций и электростанций. Это, в свою очередь, приводит к снижению надежности функционирования существующих транзитных линий электропередачи [1, 2].

При этом особое внимание следует уделить энергодефицитным районам, вероятность локализации которых, с учетом вышеизложенного, повышается. Наиболее перспективным решением проблемы энергодефицита является резервирование потребителей от автономных источников электроэнергии на базе солнечной и/или ветровой энергии. Условно обозначим такие системы «полуавтономными». Структурная схема подобной системы электроснабжения представлена на рис. 1.

Из схемы на рис. 1 видно, что потребители ПС 110 кВ Южная достаточно слабо структурно резервированы: аварийное отключение питающего фидера по стороне 110 кВ может привести к серьезному энергодефициту в районе данной подстанции. С целью недопущения

возможной перегрузки распределительных сетей по более низким классам напряжения (35 кВ и ниже) возможно резервирование электроснабжения потребителей от автономных возобновляемых источников электроэнергии (например, солнечные и ветровые). В таком случае необходимо настроить сетевую автоматику таким образом, чтобы в момент аварийного или ремонтного отключения питающего фидера 110 кВ она посылала управляющее воздействие на включение нормально отключенного выключателя на стороне автономных источников, например при помощи реле минимального напряжения или направления мощности. Данное решение позволит длительно не перегружать сети 35 кВ и ниже от шин ПС 110 кВ Южная.

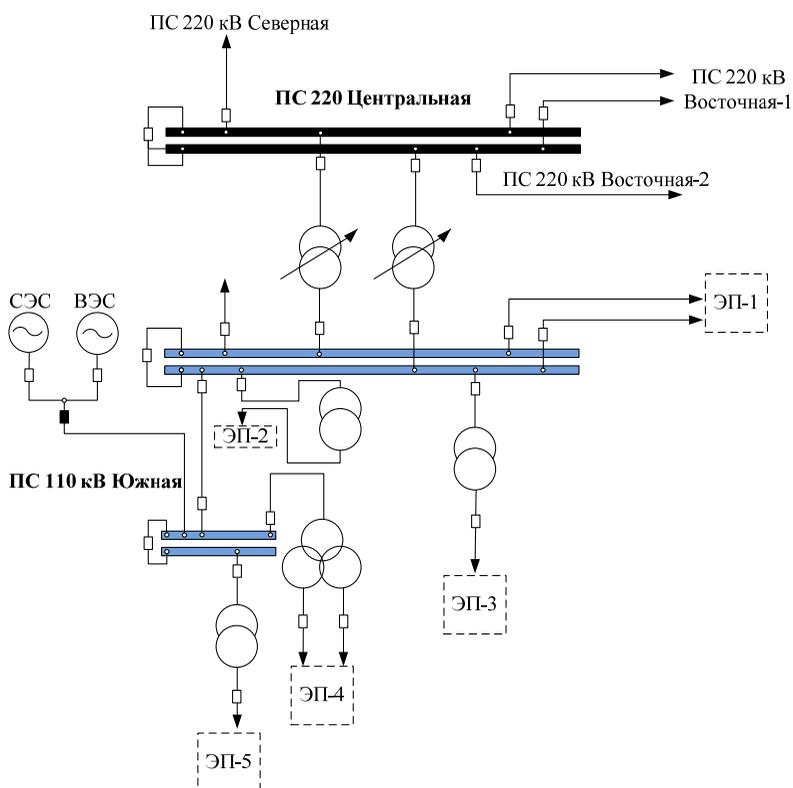


Рис. 1. Пример резервирования системы электроснабжения от автономных источников электроэнергии:

ЭП – потребители электроэнергии; ВЭС – ветряная электростанция;
СЭС – солнечная электростанция

Однако аварийные отключения ЛЭП 110 кВ и выше случаются не так часто в региональных электрических сетях. Таким образом происходит крайне низкое использование автономных источников электроэнергии, а их обслуживание и ремонт обходятся достаточно дорого. В этом случае значительно повысить энергоэффективность и энергосберегающие свойства поможет накопление электрической энергии в нормальной схеме работы сети от автономных источников электроэнергии.

Относительно недавно подобный способ рассматривался как нерациональный либо за счет дороговизны, либо за счет малого объема накопления [2]. Однако, разработанный российской компанией «ТЭЭМП» новый тип накопителей электроэнергии на литий-ионной и литий-фосфатной основе способен решить данную задачу максимально рационально. Суперконденсаторы (далее – СК), серийно выпускаемые компанией «ТЭЭМП», обеспечивают удельные мощности более 100 кВт/кг, при удельной энергии до 10 Вт.ч/кг. Разрабатываемые суперконденсаторы на базе «литий – сера», по предварительной оценке, позволят достигнуть уровня удельной энергии от 250 до 400 Вт.ч/кг в зависимости от циклического ресурса. Ключевыми преимуществами данных накопителей является высокая технологичность и унификация аккумуляторной батареи и суперконденсаторных модулей. [3].

Повышение эффективности электроснабжения в полуавтономных системах электроснабжения в условиях дефицита мощности предполагается осуществлять схемно по принципу «Сеть – автономный источник – СК» на примере системы электроснабжения, изображенной на рис. 1. Указанное схемное решение представлено на рис. 2, при этом в данном случае под дефицитом мощности будем понимать следующее: один из автотрансформаторов ПС 220 кВ Центральная находится в ремонте, а второй автотрансформатор отключается аварийно действием защит.

В рассматриваемой на рис. 2 схеме блок БКБМ выполняет роль измерительного и передающего управляющее воздействие органов в тот момент, когда возникает дефицит потребления электроэнергии, т.е. не соблюдается баланс мощности на шинах подстанции. В случае нарушения такого баланса БКБМ посылает команду управляющего воздействия на включение выключателя В-СК. Таким образом, потребители ЭП-1 – ЭП-5 начинают получать резервное питание от СК. Блок КПУ предназначен для контроля погодных условий и выбора на основе этого команды управляющего воздействия на выключатели В-1, В-2 и В-СК, т.е., даже в случае срабатывания БКБМ, но наличии достаточных условий для нормального функционирования автономного источника электроснабжения, блок КПУ отдаст команду управляю-

щего воздействия на включение В-2 и отключение В-СК. Таким образом, обеспечивается полноценная зарядка СК и компенсацию дефицита мощности. Однако, в случае, если ликвидация дефицита мощности не может быть обеспечена в полной мере только лишь действием СК или СЭС (ВЭС), то во внутреннюю логику данной системы можно заложить локальный блок БКБМ, который будет контролировать достаточность питания от СЭС (ВЭС) или СК. В этом случае В-1, В-2, В-СК должны оставаться включенными до момента ликвидации дефицита.

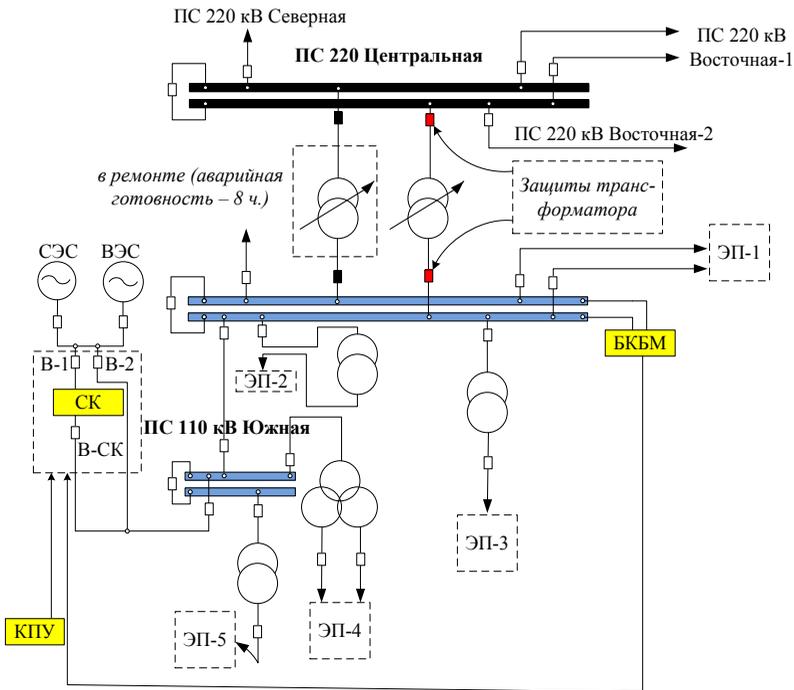


Рис. 2. Пример резервирования системы электроснабжения от автономных источников электроэнергии с учетом применения инновационных накопителей электроэнергии:

БКБМ – блок контроля баланса мощности; КПУ – контроль погодных условий

Выводы. Рассмотренное и предложенное выше схемное решение позволяет повысить эффективность функционирования полуавтономных систем электроснабжения за счет усиления резервирования посредством использования инновационных накопителей электроэнергии

в совокупности с разрабатываемой системой управления выключателями. При этом в зависимости от тяжести нарушения нормального режима возможно совокупное использование инновационных накопителей и автономных источников электроэнергии с учетом внутреннего контроля баланса мощности.

Список литературы и источников

1. Шпиганович, А. Н. Электроснабжение : монография / А. Н. Шпиганович, С. И. Гамазин, В. Ф. Калинин – Елец : ЕГУ им. И. А. Бунина, 2003. – 224 с.
2. Шпиганович, А. Н. Оценка отказоустойчивости систем электрообеспечения промышленных предприятий / А. Н. Шпиганович, Е. П. Зацепин // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2018. – № 12. – С. 29 – 35.
3. Чернецкий, А. М. Оценка экономической эффективности использования накопителей электроэнергии в энергосистеме / А. М. Чернецкий // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2013. – № 4. – С. 21 – 28.
4. В России разработан конструктивно новый тип аккумуляторной батареи. – URL : <https://www.eprussia.ru/news/ba-se/2019/4740694.htm> (дата обращения: 12.09.2019).

Писарчук А. С., Жалнин Д. О., Терехов В. В.
Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

СВЧ-ДАТЧИК ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА

Аннотация. Описан процесс разработки датчика движения, основанного на эффекте Доплера. Принцип его работы, исследование характеристик и параметров, а также диаграммы направленности антенны.

Ключевые слова: СВЧ, датчик движения, диаграмма направленности.

Датчики движения и присутствия широко применяются независимо, либо в составе охранных систем, чтобы обнаруживать проникновение посторонних, а также для автоматизации освещения и климатической техники (отопления и кондиционеров) в квартирах, жилых домах и коммерческой недвижимости.

Работа устройства микроволнового (радарного) типа не подвержена внешним погодным воздействиям – ветру, перепадам температу-

ры, прямому солнечному свету. СВЧ-детекторы не воспринимают помехи от предметов в помещении: зеркал, окон, дверей, источников света, бытовой техники; тем самым обладают преимуществом перед своими инфракрасными и звуковыми аналогами. Целью исследования является создание микроволнового датчика движения, который не уступает по эффективности и массогабаритным параметрам готовым аналогам. Для этого необходимо выполнить следующие задачи: разработать схему электрическую принципиальную, печатную плату, исследовать характеристики полученного устройства. После чего, в ходе экспериментальных и теоретических исследований дать предложения по улучшению работы и практического применения.

Для разработки схемы электрической принципиальной в качестве прототипа было взято устройство, опубликованное в [1, 31]. Схема была модернизирована под поставленные задачи: компаратор был заменен дополнительным каскадом усилителя. Вследствие чего убран узел управления высоковольтной нагрузкой, включающий оптопару и фазовый регулятор. Остальная элементная база заменена на современные аналоги. Часть, отвечающая за генерацию СВЧ-сигнала, осталась практически неизменной. Полученная электрическая схема устройства представлена на рис. 1.

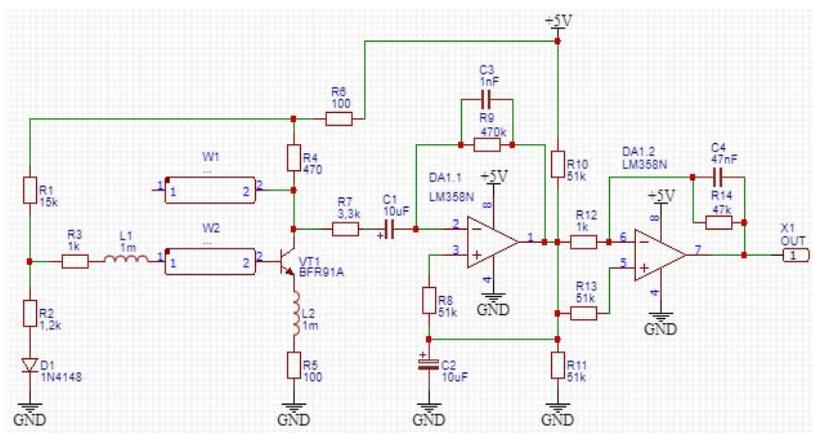


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная устройства

В результате проведенной работы были получены характеристики устройства: напряжение питания – 5 Вольт, потребляемый ток 2...4 мА, излучаемая мощность – не более 1 мВт. Оптимальная дальность реагирования была выявлена экспериментально и для объекта размером с человека достигает около 5 м.

данные и выводит график в монитор последовательного порта программы ArduinoIDE. Зеленая линия отображает получаемый микроконтроллером сигнал, синяя – разность между излученным и принятым сигналом.

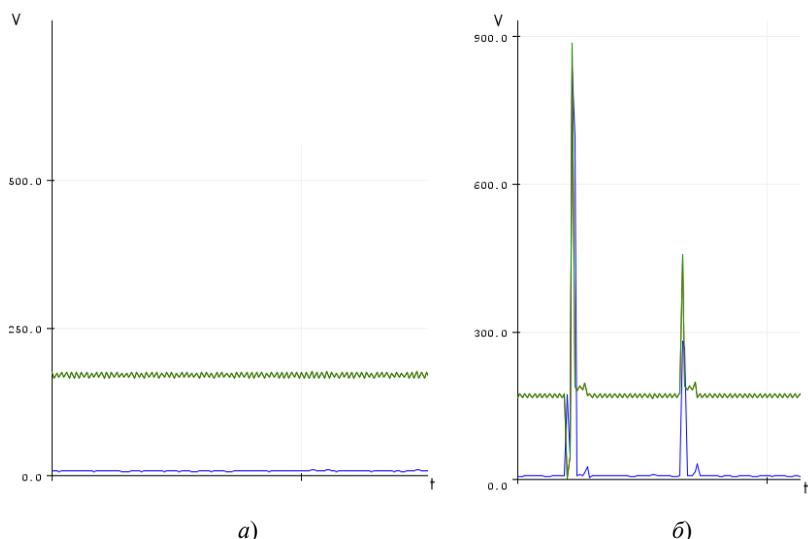


Рис. 3. График в режиме покоя устройства (а) и при обнаружении цели (б)

В данном датчике используется линейная щелевая антенна. Щелевые антенны отличаются сравнительной простотой конструкции; в них могут отсутствовать выступающие части, таким образом сохраняется компактность устройства, что в применяемой области является одним из преимуществ. В ходе выполнения работы, в программе MMANA-GAL v.3, была смоделирована используемая антенна. Результатом моделирования является диаграмма направленности антенны (ДНА).

Данная антенна имеет широкую диаграмму направленности, что является преимуществом при использовании в охранных системах в больших помещениях. Чтобы использовать его в более узком и длинном коридоре необходимо уменьшить ДНА, проведя модернизацию устройства – заменить приемно-передающую антенну. Для того, чтобы повысить устойчивость к взлому охранных систем, можно добавить узел кодирования выходного сигнала. А также установить объемный резонатор с обратной стороны устройства для получения одностороннего излучения.

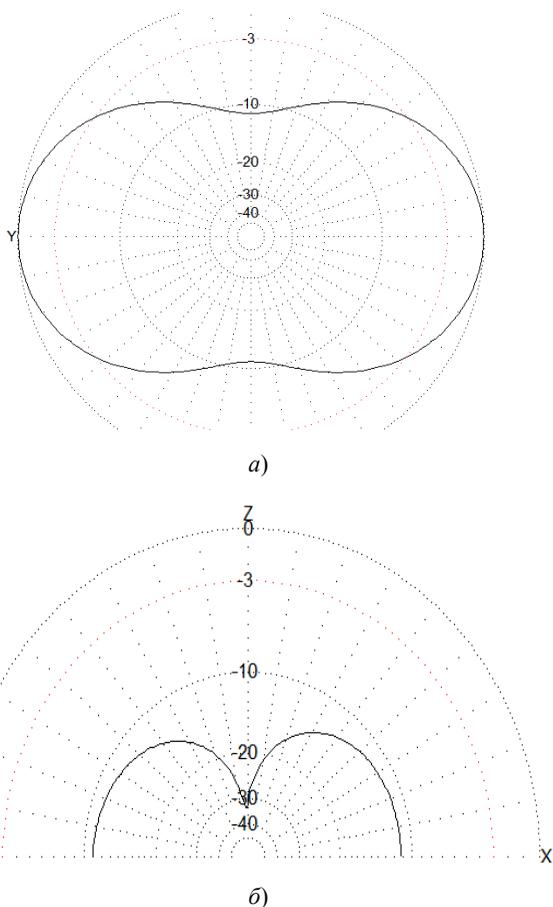


Рис. 4. ДНА в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях

Так как устройство имеет низкое питающее напряжение и выходной сигнал, совместимый с микроконтроллерами, то оно может быть использовано в комплексе системы автоматического управления помещением для включения освещения, регулирования климата или других устройств, активирующихся в присутствии человека.

Таким образом, в ходе выполненной работы были решены следующие задачи: разработан датчик движения, его схема электрическая принципиальная и печатная плата. Выполнено моделирование антенны устройства и получена ее диаграмма направленности и определена дальность действия.

Список литературы

1. Журнал Радио. – 2001. – № 10. – С. 31–32.
2. Пудовкин, А. П. Распространение радиоволн [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с.
3. Панасюк, Ю. Н. Электромагнитные поля : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин ; Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 96 с.
4. Пудовкин, А. П. Основы теории антенн : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2011. – 92 с.
5. Панасюк, Ю. Н. Устройства сверхвысоких частот : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015.
6. Панасюк, Ю. Н. Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016.

Селиванова З. М., Куренков Д. С.

Тамбовский государственный технический университет
(г. Тамбов, Россия)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ОТОПЛЕНИИ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Аннотация. Получена аналитическая модель энергоэффективности зданий и сооружений при учете затрат тепловой энергии на отопление помещения и влияющих факторов; разработана интеллектуальная информационно-измерительная система, которая предназначена для определения теплофизических свойств энергоэффективных строительных материалов с использованием цифровых технологий и методов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: интеллектуальная информационно-измерительная система, энергосбережение, тепловые потери, теплопроводность, искусственный интеллект.

Перспективным направлением в строительстве является создание энергоэффективных домов. Тепловая защита зданий и сооружений, расчет нормируемых показателей их энергоэффективности предусмотрены при проектировании и последующей экспертизе зданий и сооружений в соответствии с существующим сводом правил и энергетическим паспортом помещений [1, 2]. К основным параметрам, характеризующим качество теплозащитных материалов строительных объектов, относятся теплопроводность и теплоусвоение. Для их контроля проводятся натурные испытания с использованием измерительных средств.

Разработана интеллектуальная информационно-измерительная система (ИИИС) с реконфигурируемой структурой [3 – 5], которая предназначена для определения комплекса теплофизических свойств строительных теплоизоляционных материалов с использованием цифровых технологий и методов искусственного интеллекта (рис. 1).

Назначение и область применения: ИИИС применяется на промышленных предприятиях для неразрушающего контроля комплекса параметров теплофизических свойств (ТФС) твердых материалов на стадиях технологического процесса изготовления материалов, изделий из них и готовой продукции, а также в научно-исследовательских лабораториях для получения новых материалов с заданными теплофизическими свойствами.



Рис. 1. Интеллектуальная информационно-измерительная система ТФС строительных материалов

Уникальность, отличие от аналогов: применение цифровых технологий при создании архитектуры ИИИС: цифрофизация измерительного канала системы (применение цифровых датчиков температуры, методов цифровой обработки полученной измерительной информации); использование созданного метода повышения точности ИИИС, искусственного интеллекта для реконfigurирования структуры ИИИС в соответствии с измерительной ситуацией (распознавание образов – определение принадлежности к соответствующему классу исследуемых материалов по их теплопроводности; выбор метода контроля ТФС материалов и оптимальных режимных параметров при проведении теплофизических измерений в условиях неопределенности); комплекс определяемых параметров (коэффициентов тепло- и температуропроводности, теплоемкость, теплоусвоение); оперативность и точность определения параметров ТФС материалов.

Параметры технических характеристик ИИИС: диапазоны определяемых параметров: теплопроводности – 0,02...2 Вт/мК, теплоусвоения 0,2...17) Вт/м² °С; габариты – 280×180×100 мм; масса – 2,5 кг; диапазон температур (–50...+50) °С; время определения параметров ТФС материалов – не более 3 мин; погрешность измерения – не более 5%.

Анализ процессов эксплуатации зданий и сооружений позволяет установить, что основное влияние на повышение энергетической энергоэффективности помещений оказывают тепловая защита внешних ограждений и расход тепловой энергии на отопление зданий. Получена аналитическая модель энергоэффективности жилого помещения в виде функциональной зависимости, учитывающей основные влияющие факторы:

$$W_э = f(Q_{OC}, Q_{ЗТЭ}, T_{OC}, V_{ВОС}, \lambda_{СМ}, q_T, K_{OЭ}),$$

где $W_э$ – энергоэффективность помещения; Q_{OC} – тепловые потери в окружающую среду (ОС); $Q_{ЗТЭ}$ – затраты тепловой энергии на отопление помещения; T_{OC} – температура ОС; $V_{ВОС}$ – скорость ветра ОС; $\lambda_{СМ}$ – коэффициент теплопроводности строительных материалов; q_T – коэффициент теплоусвоения строительных материалов; $K_{OЭ}$ – относительный коэффициент энергосбережения.

Введено новое понятие – относительный коэффициент энергосбережения ($K_{OЭ}$), который определяется по формуле:

$$K_{OЭ} = \frac{\mathcal{E}_p - \mathcal{E}_н}{\mathcal{E}_н},$$

где \mathcal{E}_p – энергоэффективность помещений расчетная; $\mathcal{E}_н$ – энергоэффективность нормированная.

Получена расчетно-экспериментальная зависимость относительного коэффициента энергосбережения $K_{OЭ}$ от теплопроводности λ_{CM} (рис. 2).

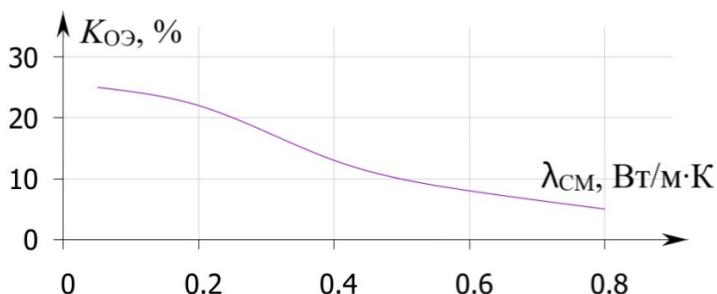


Рис. 2. График зависимости $K_{OЭ} = f(\lambda_{CM})$

Полученные результаты: контроль теплофизических свойств строительных теплоизоляционных материалов с помощью предложенной ИИИС ТФС материалов позволяет обеспечить качество используемых материалов при строении зданий и сооружений и, следовательно, комфортную температуру в помещениях, а также повышение эффективности энергосбережения при отоплении жилых домов и промышленных предприятий до 25%.

Рекомендации по применению. ИИИС ТФС строительных материалов предлагается для контроля энергосбережения помещений с использованием бесконтактных МЭМС-датчиков теплового инфракрасного излучения.

Список литературы

1. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Thermal performance of the buildings. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
2. Пилипенко, Н. В. Тепловые потери и энергетическая эффективность зданий и сооружений : учебное пособие / Н. В. Пилипенко. – СПб. : Университет ИТМО, 2016. – 54 с.
3. Селиванова, З. М. Информационно-измерительная система теплофизических свойств твердых материалов с интеллектуальным датчиком реконфигурируемой структуры / З. М. Селиванова,

В. С. Ерышова // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2019. – № 5(128). – С. 4 – 19.

4. Селиванова, З. М. Виртуальное моделирование интеллектуальных информационно-измерительных систем теплофизических свойств материалов и изделий / З. М. Селиванова, Д. С. Куренков, Т. А. Хоан ; под общей редакцией М. Н. Краснянского // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы Междунар. науч.-практ. конф. 14 – 16 ноября 2018 г. – С. 225 – 230.

5. Повышение оперативности контроля теплофизических свойств теплоизоляционных материалов интеллектуальной информационно-измерительной системой / З. М. Селиванова, Д. С. Куренков, В. Ф. Калинин, И. И. Пасечников // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – Т. 24, № 3. – С. 424 – 436.

СОДЕРЖАНИЕ

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ	5
<i>Муромцев Д. Ю., Букурако Ю. К., Шамкин В. Н., Шибирина И. О.</i> Экспертная система дестабилизационного управления многомерными технологическими объектами	5
<i>Тюрин И. В., Токарев Р. А.</i> Интеллектуальная система энергосберегающего управления двухконтурной водонагревательной установкой	8
<i>Майникова Н. Ф., Рогов И. В., Гришин А. В., Трофимов Д. В.</i> Обоснование метода исследования двухслойных материалов	11
<i>Еремин В. В., Савилов Н. А., Ряшенцев Н. И.</i> Преимущества электрического плинтусного отопления перед традиционным	14
<i>Кобелев А. В., Романова М. Р., Терехов Н. Н.</i> Анализ ветроэнергетического потенциала Тамбова	17
<i>Кобелев А. В., Карякин А. А., Липунцов Д. В.</i> Применение накопителей в управлении качеством электроэнергии	20
<i>Данилов С. Н.</i> Комплекс программ полунатурного моделирования авиационной радиолокационной системы	24
<i>Иванов А. В., Комраков Д. В.</i> Комплекс алгоритмов функционирования навигаторов подвижных наземных объектов на основе спутниковых радионавигационных систем	28
<i>Куликов Р. А., Фролов С. В., Куликов А. Ю., Дубровин В. В.</i> Информационная система формирования протоколов ультразвуковых исследований	33
<i>Коробов А. А., Фролов С. В., Алиев Н. Э.</i> Информационная модель контуров регуляции системы кровообращения человека	36
Секция 1. ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ	41
<i>Анников М. В., Кирич А. Ю., Губарев В. Я.</i> Оценка тепловых потерь в печи отжига и печи сушки агрегата непрерывного отжига	41

<i>Балашов А. А., Якунина И. В., Истомина Т. А., Абрашкин П. А.</i> Метод выбора систем отопления с учетом внешних факторов	44
<i>Баршутин С. Н., Илясов А. П., Мешкова Э. А.</i> Определение вероятности ионизации нейтральной частицы при столкновении с электроном под действием электрического поля	48
<i>Богомолов И. И.</i> Снижение ремонтно-профилактического периода в сетях четырехтрубного исполнения в централизованной системе теплоснабжения г. Липецка	51
<i>Богомолова А. А., Гнеушева М. А.</i> Исследование увлажненной тепловой изоляции	54
<i>Евстюхин П. А.</i> Природные хладагенты для промышленного охлаждения	58
<i>Климова Ю. Н.</i> Возобновляемые источники энергии как перспективное направление развития энергетики	63
<i>Колесникова Е. С.</i> Применение погодозависимой автоматики в котельных для повышения энергоэффективности системы теплоснабжения жилых зданий	67
<i>Костиков В. Г., Костиков Р. В., Гаврилин Я. С.</i> Тепловое сопротивление теплоотвода силовых полупроводниковых приборов	70
<i>Махмуд Мохаммед Али Сами</i> Потенциал солнечной энергии для выработки электроэнергии в Ираке	74
<i>Попов О. Н., Никулин П. Н., Чубаров Р. Ю., Шпаков А. И.</i> Повышение эффективности работы тепловой электростанции	77
Секция 2. ГЕНЕРАЦИЯ, ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	81
<i>Блюк В. В., Ершов М. С., Комков А. Н.</i> Модели и алгоритмы быстрого расчета электромеханических переходных процессов машинных электротехнических систем	81

<i>Зарандия Ж. А., Ручьев А. Г., Дадонов Р. А., Захаров А. О.</i> Применение цифровых технологий в электроэнергетике	85
<i>Иванов В. М., Кобелев А. В., Кагдин А. Н.</i> Надежность круглых шинопроводов в силовых электрических сетях	88
<i>Кагдин А. Н., Тулупов К. И.</i> Солнечная энергетика в Тамбовской области	92
<i>Калинин В. Ф., Илиес Шауки</i> Развитие производства качественной альтернативной электроэнергии в странах Африки	97
<i>Кобелев А. В., Кочергин С. В., Крючкова Е. Н., Ахмед Рауф Абдельфаттах Абдельхафиз</i> Технологии блокчейн и качество электрической энергии	101
<i>Кобелев А. В., Молоканов А. А., Медведев С. А., Аль Хадези Ахмед Мохаммед Оваид</i> Формирование баз данных показателей качества электроэнергии по осциллограммам с применением численных методов и специальных программ	104
<i>Кочергин С. В., Дронов В. В., Сгадов И. О.</i> Саморегулируемый электрический подогрев воздуха в теплицах	108
<i>Моторина Н. П., Стоцкий К. П., Кривошапов А. Ю.</i> Расширение центра питания Белгородской области	111
<i>Петров В. В., Веремеев А. А.</i> Применение технологии 3D-тренажеров для повышения качества подготовки кадров электроэнергетического профиля	114
<i>Пустовой Е. А., Пустовая О. А.</i> Применение в энергетике специализированных методов архивации с разметкой данных	117
<i>Пустовой Е. А., Копылов Е. В.</i> Система опционального определения объектов	120
<i>Сукачев А. И., Мишустин И. С., Сукачева Е. А., Худяков Ю. В.</i> Особенности проектирования устройств беспроводной передачи энергии	124
<i>Уваров С. А., Калинин В. Ф., Аль Хадези Ахмед Мохаммед Оваид</i> Оценка изменения показателей надежности от внедрения реклоузеров для комплексной автоматизации участка сети	127

<i>Чернышов В. А., Гладков О. Б.</i> Оценка эффективности теплоотвода проектируемой светодиодной осветительной аппаратуры с использованием микропроцессорной базы	130
<i>Чернышов В. А., Печагин Е. А., Шустиков А. В.</i> Повышение безопасности и надежности электрических сетей с изолированной нейтралью	134
Секция 3. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ	139
<i>Баранкин В. Л., Миропольский Ф. П.</i> Этапы совершенствования ракетных двигателей твердого топлива неуправляемых авиационных ракет	139
<i>Белоусов С. С., Федюнин П. А.</i> Анализ показателей и критериев оценки непрерывности управления процессом	143
<i>Белоусов С. С., Федюнин П. А.</i> Анализ показателей и критериев оценки устойчивости системы связи организации	146
<i>Данилин М. А., Татаринов А. Н.</i> Построение телекоммуникационных сетей, обладающих свойством устойчивости	150
<i>Ивануткин А. Г., Асанов А. С.</i> Особенности оснащения аэродромов временного базирования авиации объектами авиационной инфраструктуры	152
<i>Казьмин А. И., Федюнин П. А., Рябов Д. А.</i> Обнаружение и оценка дефектов в диэлектрических покрытиях по данным измерений параметров структуры поля поверхностной электромагнитной волны	155
<i>Кибец А. С., Путинин Я. С., Косенко А. А., Темиргалиев Р. Р., Веремеев А. А.</i> Разработка беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для автоматической диагностики воздушных линий электропередачи	159
<i>Кознова А. Н., Седлецкая С. Э.</i> Программное обеспечение в основе эффективности автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов	163

<i>Лицин К. В., Утямишев Д. М.</i> Автоматическая система перемещения тележки и подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор	167
<i>Логачева В. Н.</i> Математическая модель трехфазного трансформатора	171
<i>Манин А. В., Вайнер Д. Б.</i> Мониторинг распределительной сети цеха на основе матричного анализа	175
<i>Моторина Н. П., Захарова А. В., Кулешова К. В.</i> Автоматизация дутьевого вентилятора	179
<i>Назмутдинов И. С.</i> Методика формирования и автоматизированного управления запасными элементами радиоэлектронной техники	183
<i>Наумова А. Ю.</i> Формирование структуры подсистемы управления надежностью программного обеспечения энергосберегающих информационно-измерительных систем с применением нейросетевых технологий	186
<i>Нетесов Е. Ю., Зацепина В. И.</i> Анализ повышения производительности работы калибровочного стана за счет используемого управляемого тиристорного выпрямителя вместо системы генератор–двигатель	190
<i>Пресняков М. Ю., Рябов А. В., Хакбердыев А. В.</i> Факторы, влияющие на функционирование системы связи в условиях радиоэлектронного воздействия	192
<i>Стафеев М. А., Василевский А. А.</i> Методика оценки системы радиотехнического обеспечения полетов	195
<i>Хрипунов В. П., Зырянов Ю. Т.</i> Основные требования к созданию и эксплуатации комплекса технических средств подготовки космонавтов	199
<i>Хрипунов В. П., Зырянов Ю. Т.</i> Особенности формирования оптимальной структуры комплекса технических средств подготовки космонавтов	202
<i>Чернышов Н. Г., Сидорова Д. А., Гурин Д. С., Тинотенга Д.</i> Использование графических образов в разработке систем энергосберегающего управления технологическими объектами	205

<i>Чернышова Т. И., Курносое Р. Ю., Каменская М. А., Карелин П. И.</i> Оценка эффективности прогнозирования показателей метрологической надежности информационно-измерительных систем	209
<i>Шлейников В. Б., Антонова С. В., Руппель А. В.</i> Анализ потерь в силовых трансформаторах средствами табличного процесса	212
<i>Горячев С. В., Харченко П. А.</i> Эксплуатация безопасного ветрогенератора в теплоэнергоснабжении	216
<i>Юдин П. А.</i> Модульный принцип построения источников питания	221
<i>Юдин А. В.</i> Ускоренный вывод электротермических установок на режим	224

Секция 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Абдулвелеева Р. Р., Утямишев Д. М.</i> Имитационная модель автоматической системы перемещения тележки и подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок	228
<i>Алексеев А. В., Лесных И. Е., Мартыненко Е. В., Туровский Я. А.</i> Оценка возможности применения видеоокулографического интерфейса в задачах управления эргатическими системами	232
<i>Безрядин В. А., Хворов Р. А.</i> Оценка приоритетности направлений совершенствования радиоуправления	235
<i>Буянкина И. А.</i> Выбор оптимального программного обеспечения для решения задач электроэнергетики	239
<i>Васильев Е. М., Крутских И. В.</i> Решение задачи о назначениях в распределительных сетях	242
<i>Венцеровна Н. В.</i> Цифровая обработка сканов оптического когерентного томографа для анализа рассеивающих свойств диоксида титана и оксида цинка при изготовлении оптического фантома	246

<i>Ворогушин П. А., Фетисов И. Н.</i> Модель фрактальной антенны декаметрового диапазона	249
<i>Галимова Е. Ю.</i> Особенности тестирования программных средств автоматизированной системы управления ремонтами энергетического оборудования (АСУРЭО)	253
<i>Данилов С. Н., Алексеев М. В., Аистов В. С.</i> Оценивание координат летательного аппарата на основе модели движения с частотно-разделенными характеристиками	256
<i>Данилов С. Н., Амелина В. И., Худякова А. Д.</i> Сравнительный анализ моделей алгоритма экстраполяции для снижения энергозатрат на управление	261
<i>Демидов М. С., Глотов Н. А., Москвитин С. П.</i> Исследование помехоустойчивости радиосигнала стандарта ZigBee с QPSK модуляцией	265
<i>Емельянов А. Н., Кондусов В. А.</i> Контроллер солнечного заряда с отслеживанием точки максимальной мощности	269
<i>Забанов Д. С.</i> Интеллектуальное управление терапевтическим электромагнитным полем при лечении внутренних органов человека	273
<i>Зауголков И. А., Колобков А. Ю., Исаева О. В.</i> Обеспечение защиты информации в автоматизированной системе управления на критически важных объектах	277
<i>Казаков Д. Ф., Ковшов Е. Е., Кувшинников В. С.</i> Системы «малой» автоматизации и энергоэффективность промышленного производства	281
<i>Казьмин А. И., Федюнин П. А., Рябов Д. А.</i> Подход к оценке электрофизических параметров метаматериалов	285
<i>Ковергин Р. Е., Шамкин В. Н.</i> Цифровая трансформация в управлении цепями поставок вертикально-интегрированных нефтяных компаний	289
<i>Кондусов В. А., Кондусов В. В.</i> Магнитный импеданс в аморфном сплаве $Fe_{74}P_{18}Mn_5V_3$ в диапазоне частот 0,5...100 МГц	292

<i>Коновалова К. Н., Судаков Д. Е.</i> Информационный анализ модели сердечно-сосудистой системы и ее применение для изучения процессов регуляции	295
<i>Косогорцев А. А., Пудовкин А. П.</i> Метод и устройство контроля толщины металлофторопластового ленточного материала	299
<i>Кувшинников В. С., Ковшов Е. Е.</i> Энергоэффективное управление порталным манипулятором	303
<i>Кузнецов А. А.</i> Количество информации ритмограммы сердца	307
<i>Кузьяев Д. Р., Пудовкин А. П.</i> Метод увеличения помехоустойчивости процесса обмена данными	310
<i>Кузьяев Д. Р., Пудовкин А. П.</i> Анализ моделей распространения сигнала внутри помещений для беспроводной сети в цеховых условиях	315
<i>Мальцев В. А., Пищулин А. В., Сиваш М. А., Журавлев Д. В.</i> Исследование усилителя биопотенциалов для носимых устройств, работающих в информационно-телекоммуникационной системе контроля функционального состояния человека.....	320
<i>Мещеряков И. В., Шаранов И. В.</i> Электрофизические аспекты при выборе материала для изготовления антенн для Wi-Fi-оборудования	325
<i>Мещеряков Ю. Ю., Смыкалов А. О., Кондусов В. А.</i> Wi-Fi-ячейка управления для системы «Умный дом»	328
<i>Мжельский А. А., Панасюк Ю. Н.</i> Исследование алгоритмов функционирования измерителя дальности информационно-измерительной системы со случайной структурой при траекторной обработке воздушных судов	333
<i>Михина А. В., Ряшенцева А. Н.</i> Особенности создания сайта интернет-магазина на примере продажи аппаратов ИВЛ	337
<i>Мордасов С. А., Негуляева А. П., Чернышов А. В., Чернышов В. Н.</i> Информационно-измерительная система неразрушающего контроля теплозащитных свойств многослойных конструкций	340

<i>Нечаев А. С., Стариков А. Ю., Кондусов В. А.</i> Синхронные и асинхронные счетчики с естественным и произвольным порядком изменения значений кодов	343
<i>Новожилов А. М., Лялин Д. О., Кондусов В. А.</i> Метеостанция	347
<i>Протасова З. У., Шаталова О. В.</i> Анализ методов расчета параметров комплексного сопротивления биоматериалов	349
<i>Пустовой Е. А., Копылов Е. В.</i> Система опционального определения объектов	353
<i>Рипка Д. С., Юлдашев З. М.</i> Исследование характеристик внутрисердечных электрограмм при нарушениях ритма сердца	357
<i>Ряшенцева А. Н., Михина А. В.</i> Полосовая обработка МРТ-изображений цифровым и дискретно-аналоговым способами	360
<i>Сарычев Р. А., Сторожев Д. А., Панасюк Ю. Н.</i> Измеритель координат воздушного судна в автоматизированной системе управления воздушным движением	364
<i>Соколовский А. А., Земцов А. И.</i> Волоконно-оптический датчик температуры	368
<i>Матыцина И. А., Коробова Л. А., Абрамов Г. В.</i> Распознавание звуковых сигналов в системах поддержки принятия решений	371
<i>Сукачев А. И., Балашов Ю. С., Семенов В. Ю., Сукачева Е. А.</i> Особенности проектирования энергосберегающего устройства с функцией хранения данных	375
<i>Суконкин И. А., Суконкин О. И.</i> Выделение информативных признаков для распознавания объектов на ультразвуковом изображении	378
<i>Сустин А. И., Пудовкин А. П.</i> Методы определения дальности до маневрирующего воздушного судна с использованием методов калмановской фильтрации в третичной обработке радиолокационной информации	382
<i>Трифонов А. А.</i> Биотехническая система управления экзоскелетом	387

<i>Фролов С. В., Потлов А. Ю., Фролова Т. А.</i> Информационный анализ подходов к определению механических свойств мягких биологических тканей	390
<i>Фролов С. В., Потлов А. Ю., Фролова Т. А.</i> Информационный анализ эндоскопических зондов для оптической когерентной томографии	394
<i>Хребтов А. Р., Данилов С. Н.</i> Сравнение способов фильтрации цифрового сигнала в системе измерения угловых координат наземных подвижных объектов	398
<i>Черешнев В. О., Кулешов И. В., Романенко И. М., Шемонаев И. В.</i> Использование информационных и цифровых технологий для определения формы сигнала	402
<i>Черешнев В. О., Родионова И. Э., Проскурин С. Г.</i> Дифференциация структур биообъекта посредством цифрового информационного анализа интенсивности пикселей	406
<i>Черешнев В. О., Родионова И. Э., Проскурин С. Г.</i> Спектральный анализ электрокардиограмм при помощи цифровых технологий быстрого преобразования Фурье	409
<i>Климентьев В. В., Зацепин Е. П.</i> Использование систем накопления энергии в энергоснабжении	414
<i>Кустов А. Н., Зацепина В. И.</i> Интеллектуальная энергетика с интеграцией АИЭ	417
<i>Ловчий В. Р., Зацепин Е. П.</i> Повышение эффективности электро-снабжения в условиях дефицита мощности в полуавтономных системах	421
<i>Писарчук А. С., Жалнин Д. О., Терехов В. В.</i> СВЧ-датчик движения на основе эффекта Доплера	425
<i>Селиванова З. М., Куренков Д. С.</i> Интеллектуальная информационно-измерительная система теплопроводности строительных материалов для повышения эффективности энергосбережения при отоплении жилых помещений	430

Научное электронное издание

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Материалы Всероссийской научной конференции

Редакторы:

И. В. Калистратова, Л. В. Комбарова, Е. С. Мордасова

Инженеры по компьютерному макетированию:

И. В. Евсеева, Т. Ю. Зотова, М. Н. Рыжкова

ISBN 978-5-8265-2203-5



Подписано к использованию 17.02.2020.

Тираж 100 шт. Заказ № 7

Издательский центр ФГБОУ ВО «ПГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.
Телефон (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru