

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

**ВТОРАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ЦИФРОВАЯ
ТРАНСФОРМАЦИЯ
В ЭНЕРГЕТИКЕ**

СБОРНИК ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ

21 – 22 декабря 2020 года

*Конференция проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований,
проект №20-08-22046 «Научные мероприятия»*

ТАМБОВ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ПЕРШИНА Р.В.

2021

УДК 658.26
ББК 31.3
Ц75

*Председатель конференции –
Чернышова Татьяна Ивановна.*

*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: Вторая всероссийская научная конференция: сборник трудов. 21 – 22 декабря 2020 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Российский фонд фундаментальных исследований; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»; Т.И. Чернышова, отв. ред. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2021. – 371 с.

Представлены тезисы докладов участников Второй всероссийской научной конференции «Цифровая трансформация в энергетике», в которых раскрываются 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 могут быть полезны студентам-исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

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

- © Тамбовский государственный технический университет, 2021
- © Авторы статей, 2021
- © Издательство Першина Р.В., 2021

ISBN 978-5-91253-775-2

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 году была включена в перечень основных направлений развития страны до 2025 года.

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: применения 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 организована и проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №20-08-22046 «Научные мероприятия»

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ.....	12
<i>Артемова С.В., Каменская М.А., Чиен В.Ч.</i> МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ ТЕПЛО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ	12
<i>Балашов А.А.</i> МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕГО В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ГАУССОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН ПРИМЕНИТЕЛЬНО ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНОГО ПЕРЕХОДА В ПОЛИМЕРЕ	16
<i>Барсуков А.А., Дмитриев О.С.</i> НЕЙРОСЕТЕВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	19
<i>Бесперстова Г.С., Буракова Е.А., Ткачев А.Г., Татаринцев Е.Ю.</i> РОЛЬ НОСИТЕЛЯ КАТАЛИЗАТОРА В ПРОЦЕССЕ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР	23
<i>Буракова Е.А., Бесперстова Г.С., Дьячкова Т.П., Татаринцев Е. Ю., Ткачев А.Г.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТАЛИЗАТОРА СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР.....	27
<i>Грибков А.Н., Залукаева Н.Ю.</i> ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОЕМКИМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	31
<i>Залукаева Н.Ю., Грибков А.Н.</i> ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ	35
<i>Каверзина А. И., Стерлигов В. А., Крамченков Е. М., Мануковская Т. Г.</i> К ВОПРОСУ О ПОКВАРТИРНЫХ СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ В МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ.	39
<i>Корпусов Д.В., Балашов А.А.</i> МЕТОДЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБАХ	42
<i>Кузьмин С.Н., Кох-Татаренко В.С., Небываев А.В.</i> К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОКИСЛЕНИЯ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ	46
<i>Образцов Д.В., Чернышов В.Н.</i> ПОВЫШЕНИЕ МОЩНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	49
<i>Папин В.Е., Губарев В.Я.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В СВЕРХЗВУКОВЫХ СОПЛОВЫХ РЕШЕТКАХ	51

<i>Платёнкин А.В., Чернышов В.Н.</i> КОНСТРУКЦИЯ ПЛАНАРНОГО ТВЕРДООКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА.....	55
<i>Кузьмин С. Н., Исьемин Р. Л., Муратова Н. С., Кох – Татаренко В.С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНОГО ИНДЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИГОДНОСТИ НОВЫХ ВИДОВ ГРАНУЛИРОВАННОГО БИОТОПЛИВА.....	59
<i>Чернышов В.Н., Платёнкин А.В.</i> РАЗРАБОТКА ПОРИСТЫХ КАТОДНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЖИДКИХ ПРЕКУРСОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПЛАЗМЫ.....	66
<i>Чиен В.Ч., Артемова С.В., Каменская М.А.</i> НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА В УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ СУШКИ В СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ВАЛЬЦЕ-ЛЕНТОЧНОГО ТИПА	68
СЕКЦИЯ 2. ГЕНЕРАЦИЯ, ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	72
<i>Бородин М.В., Зубов А.А.</i> СПОСОБ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	72
<i>Виноградов А.В., Виноградова А.В., Сейфуллин А.Ю., Большев В.Е.</i> СПОСОБ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОТ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ К ИСТОЧНИКУ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	76
<i>Зайченко В. М., Сычев Г. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНЫХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДЛЯ МЕСТНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ	80
<i>Илиес Шауки, Калинин В.Ф.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАРЯДКИ СВИНЦОВО-КИСЛОТНОГО АККУМУЛЯТОРА ОТ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ БАТАРЕИ.....	81
<i>Климентьев В.В., Лыков Н.А., Зацепин Е.П.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ НА ЛИНЕЙКЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ATMEGA В РАМКАХ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ARDUINO IDE.....	87
<i>Колесникова Е.С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В ЭНЕРГЕТИКЕ.....	89
<i>Кудрявцев А.Е., Зацепина В.И.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ВОДОРОДНЫМ АККУМУЛИРОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ	93
<i>Кустов А.Н., Зацепина В. И.</i> АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ.....	95

<i>Моторина Н.П.</i> ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКУ.....	98
<i>Павлов И.В., Зацепина В.И.</i> АЛГОРИТМРЕГУЛИРОВАНИЯ APFR (AVERAGE POWER FACTOR REGULATION).....	102
<i>Пустовая О.А., Пустовой Е.А.</i> О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.....	104
<i>Седых К.В., Зацепина В.И.</i> СИСТЕМЫ МКС КАК ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ	108
<i>Зацепин Е.П., Старцева Д.О.</i> РОЛЬ ВЕМ-МОДЕЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ	110
<i>Патрикеев Л.Н.</i> ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА	112
<i>Чекулдаева С.Р., Зацепина В.И.</i> НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕЕ	117
СЕКЦИЯ 3. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ	119
<i>Акулинин Е.И., Голубятников О.О., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И.</i> ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ АДСОРБЦИОННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ КИСЛОРОДА ИЗ ВОЗДУХА.....	119
<i>Акулинин Е.И., Голубятников О.О., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И.</i> ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ АДСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ КИСЛОРОДА ИЗ ВОЗДУХА.....	123
<i>Артемова С.В., Каменская М.А., Чиен В.Ч.</i> НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	127
<i>Бородин М.В., Семенов А.Е., Сорокин Н.С.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОМ КОМПЛЕКСЕ	131
<i>Бурганов Р.А.</i> УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ НА ЭНЕРГИЮ НА УРОВНЕ ДОМАШНИХ ХОЗЯЙСТВ	134
<i>Бушуев А.С.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЧАСТНОГО ДОМА В Г. ЕВПАТОРИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ.....	137
<i>Ващенко С.С., Тюрин И.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕЛИОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ.....	141
<i>Чернышов Н.Г., Гурин Д.С.</i> ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА НАВИГАЦИИ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА.....	145

<i>Дмитриевцев А.Ю.</i> АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ В СОСТАВЕ SMART АНТЕННЫХ СИСТЕМ.....	149
<i>Дмитриевцев А.Ю., Макрам О.Г.О.М.</i> АНТЕННАЯ РЕШЕТКА НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА.....	153
<i>Зебрева М.М., Зырянов Ю.Т., Шепелёв Н.И.</i> ЦИФРОВИЗАЦИЯ В РОССИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ, В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, БИЗНЕСЕ, БЫТУ. ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ.....	157
<i>Казьмин А.И., Федюнин П.А., Рябов Д.А.</i> КОНТРОЛЬ СТЕПЕНИ ОТСЛОЕНИЯ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН.....	161
<i>Казьмин А.И., Федюнин П.А.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ОТСЛОЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ	165
<i>Качалов Р.М., Слепцова Ю.А., Шокин Я.В.</i> КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ	169
<i>Колодина А.А., Чернышов Н.Г.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ	173
<i>Кудряшов М.А., Белоусов О.А., Дмитриевцев А.Ю.</i> ПОСТРОЕНИЕ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОЛУВОЛНОВОЙ И ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВОЙ КВАДРИФИЛЯРНОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ МНОГОПРОВОДНЫХ СПИРАЛЕЙ	176
<i>Мальханов М. Ю., Стерлигов В. А., Крамченков Е. М., Мануковская Т. Г.</i> К ВОПРОСУ О ВЫТЯЖНОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ КАНАЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	180
<i>Москвитин С.П., Баршутин С.Н.</i> ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТНЫХ ТОКОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СОВМЕСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....	184
<i>Наумова А.Ю.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРИРОВАННОЙ КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АППАРАТНОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ	189
<i>Ожогина Л.С., Шепелёв Н.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ ПОСТРОЕНИЯ ДВУХЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН ПРИ СИНТЕЗЕ МНОГОЛУЧЕВЫХ И ВЕЕРНЫХ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ.....	193

<i>Петров В.А., Толстолугов В.А., Казейкин В.С., Крюков Ю.А.</i> ЦЕЛЕВОЙ УЧЕБНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС (ЦУОК) ГБУ ВО МО «УНИВЕРСИТЕТ «ДУБНА»	197
<i>Плешкова Е.С., Шарапов А.И.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕСТНОЙ ВЫТЯЖНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В ЦЕХЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	201
<i>Ростовцева И. А.</i> ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ КАМЧАТКИ.....	204
<i>Скворцов А.А.</i> О РАСЧЕТЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШИРОКОПОЛОСНОСТИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА С ЦЕНТРАЛЬНЫМ СИММЕТРИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ.....	208
<i>Скоморохов К.В., Майоров М.А.</i> АНАЛИЗ ИСКАЖЕНИЙ ВИБРАТОРНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В СУБМИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ.....	213
<i>Слинин С.И., Симбаев А.Н., Зырянов Ю.Т.</i> АДАПТАЦИЯ АППАРАТА ГИБРИДНЫХ НЕЙРО-НЕЧЁТКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА КЛАСИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ	217
<i>Сорока Е.П., Стафеев М.А., Москвитин С.П.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СВЯЗЬЮ АВИАЦИОННЫХ ФОРМИРОВАНИЙ.....	221
<i>Сустин А.И., Пудовкин А.П., Глистин В.Н.</i> ЭТАПЫ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ.....	225
<i>Хворова Н.А., Долгов С.Б., Шамкин В.Н.</i> ГРЕЙДИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ МОТИВАЦИИ ПЕРСОНАЛА НА ПРОИЗВОДЯЩЕМ РАДИОЭЛЕКТРОННУЮ ПРОДУКЦИЮ ПРЕДПРИЯТИИ.....	229
<i>Хрипунов В.П., Зырянов Ю.Т.</i> ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ КОСМИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЕРОВ В ПРОЦЕССЕ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ	233
<i>Шамаева Е.Ф.</i> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ	237
<i>Венцеров Н.В., Тымчук Т.М.</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МИГРАЦИИ ФОТОНОВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО	242
СЕКЦИЯ 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	246
<i>Алексеев М.В., Аистов В.С., Данилов С.Н.</i> ОЦЕНИВАНИЕ КООРДИНАТ ВОЗДУШНОГО СУДНА С УПРАВЛЕНИЕМ ПО НЕВЯЗКЕ	246

<i>Амелина В.И., Худякова А.Д., Данилов С.Н.</i> МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХ ВИДОВ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ.....	250
<i>Богословский Е.А., Самсонов М.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОСВЯЗИ С БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ	254
<i>Букин М.В., Пудовкин А.П.</i> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОСНОВАННАЯ НА ВЫБОРЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ КАЧЕСТВО ЕЁ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	258
<i>Гоберкорн Л.Б.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЦИФРОВОГО ТВ СИГНАЛА.....	262
<i>Дмитриев О.С. Барсуков А.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ОТВЕРЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	264
<i>Дутов М.Н., Образцов Д.В., Чернышов В.Н.</i> АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СИНТЕЗА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР.....	267
<i>Дьяченко В.А., Афанасьев А.Д., Головченко Е.В.</i> ПОКАЗАТЕЛЬ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ АВИАЦИОННОЙ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ.....	269
<i>Зацепин Е.П., Жуков В.С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ	273
<i>Иванов А.В., Иванов А.А.</i> ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ И ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЕ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА НАВИГАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ	275
<i>Кайдаш Е.П., Назмутдинов И.С., Негуляева А.П.</i> НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОИНСКИХ ФОРМИРОВАНИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ПО ИХ РЕАЛИЗАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ	278
<i>Кайдаш Е.П., Назмутдинов И.С., Негуляева А.П.</i> ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ОПЕРАТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАМИ ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВОИНСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ	282
<i>Каменская М.А., Чернышова Т.И.</i> ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ И ПОВЫШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	286
<i>Маслина В.В., Данилов С.Н.</i> СИСТЕМА УГЛОВОЙ КОРРЕКЦИИ АНТЕННЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ.....	290

<i>Мжельский А.А., Евтеев В.В., Панасюк Ю.Н., Пудовкин А.П.</i> РАЗРАБОТКА ДИСКРЕТНОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРИ ТРАЕКТОРНОЙ ОБРАБОТКЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ	294
<i>Михина А.В.</i> РАЗРАБОТКА UML МОДЕЛИ АППАРАТА ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ.....	298
<i>Михина А.В., Строев В.М.</i> СПОСОБ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ КОЖИ	301
<i>Москвитин С.П., Сурков В.О.</i> ЦЕЛОСТНОСТЬ РАДИОСИГНАЛОВ СРНС В НАВИГАЦИОННОМ КОМПЛЕКСЕ ПОДВИЖНОГО НАЗЕМНОГО ОБЪЕКТА	305
<i>Нетесов Е.Ю., Зацепина В.И.</i> ПОСТРОЕНИЕ ВНУТРИЦЕХОВОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БАЗЕ СЕТИ LORAWAN	308
<i>Павлов П.А.</i> ОБЗОР ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ МИС СВЧ.....	312
<i>Першин А.А., Головченко Е.В., Москвитин С.П.</i> ФАКТОР НИЗКОЙ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЁННОСТИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ	317
<i>Сарычев Р.А., Хребтов А.Р., Панасюк Ю.Н.</i> РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ.....	320
<i>Севодина А.Н.</i> РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ.....	324
<i>Сорока Е.П., Стафеев М.А., Иванов А.В.</i> ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА РАДИОСВЯЗИ С ЭКИПАЖАМИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ МОРСКОЙ АВИАЦИИ	328
<i>Стаценко Р.А., Зацепин Е. П.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УМНОГО УЧЕТА.....	331
<i>Сторожев Д.А., Харитонов В.А., Пудовкин А.П.</i> АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ДИСПЕРСИИ ОШИБОК ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗИНГЕРОВСКОЙ МОДЕЛИ СОСТОЯНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ.....	333
<i>Терехова А.А., Дмитриевский Б.С., Аль Кнфер С. Н. А., Аль Амиди М.А.Д.</i> ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ В ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ	336
<i>Терехова А.А., Дмитриевский Б.С.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	340

<i>Тымчук Т.М., Венцера Н.В.</i> ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ТОМОГРАФА ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА	344
<i>Удалова А.П., Чернышов В.Н., Чернышов А.В.</i> МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АДАПТИВНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	347
<i>Фролов С.В., Потлов А.Ю., Фролова Т.А.</i> ЦВЕТОВОЕ ДОПЛЕРОВСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ КРОВОТОКА В СОСУДАХ СЕТЧАТКИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ.....	351
<i>Хворов Р.А., Безрядин В.А., Ряхов Б.Т.</i> ФОРМАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ В УСЛОВИЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ.....	355
<i>Хребтов А.Р., Сарычев Р.А., Данилов С.Н.</i> ВЛИЯНИЕ МНОГОЛУЧЕВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ НА СИСТЕМУ КОНТРОЛЯ ЗА ДВИЖЕНИЕМ АВТОМОБИЛЕЙ	359
<i>Чернышов В.Н., Удалова А.П., Чернышов А.В.</i> ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	363
<i>Шепелёв Н.И., Ожогина Л.С., Зебрева М.М.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММ ДЛЯ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ СХЕМ.....	367

Артемова¹ С.В., Каменская² М.А., Чиен¹ В.Ч.

**МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ
СИСТЕМАХ ТЕПЛО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ**

*Российский технологический университет – МИРЭА¹,
Тамбовский государственный технический университет²*

***Аннотация.** В статье описываются особенности тепло-технологических аппаратов. Обосновываются факторы, определяющие необходимость применения методов машинного обучения при разработке информационно-измерительных и управляющих систем. Приводятся методы машинного обучения, позволяющие повысить производительность разработанных информационно-измерительных и управляющих систем ТТА.*

***Ключевые слова:** тепло-технологические аппараты, методы машинного обучения, информационно-измерительные и управляющие системы.*

В настоящее время для решения задач повышения эффективности в энергоемких отраслях промышленности в рамках модернизации производственных процессов широко внедряются информационно-измерительные и управляющие системы. Особенностью таких систем является необходимость управления не только по критериям, учитывающим качество производимого продукта и производительность управляемого процесса, но и по критерию энергосбережения. Одновременное использование перечисленных критериев при решении задач управления, которые противоречиво влияют друг на друга, значительно усложняет как математическое, алгоритмическое, так и техническое обеспечение проектируемых систем.

К наиболее энергоемким объектам управления в современной промышленности относятся тепло-технологические аппараты (ТТА) представляющие собой одно- или многокамерные устройства, в пределах которых осуществляются все стадии данного тепло-технологического процесса.

Как объекты управления ТТА имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при анализе и синтезе управления по заданным

критериям. В качестве основных особенностей ТТА как объектов управления можно выделить следующие:

- большие затраты энергоресурсов;
- высокие требования к поддержанию технологических режимов;
- необходимость учета взаимного влияния составляющих ТТА ка- мер друг на друга;
- наличие дестабилизирующих факторов в каналах управления и измерения;
- изменение основных режимных параметров объекта управления в процессе его реальной эксплуатации.

Вектор управления может содержать два типа компонентов – компоненты общего действия (на весь ТТА) и частные (локальные) компоненты. В качестве выходных переменных могут рассматриваться контролируемые величины в отдельных частях ТТА. Управляющее устройство вырабатывает воздействия, которые учитывают возможные изменения состояний функционирования, обусловленные наличием временного лага между управляющими воздействиями и выходными переменными. Основными показателями эффективности функционирования ТТА являются качество выпускаемого продукта, производительность процесса, низкие энерго- и ресурсозатраты.

К классу ТТА относятся различные виды сушильных установок. Сушка – широко распространенный энергоемкий процесс в химической, металлургической, машиностроительной, строительной, пищевой и других отраслях промышленности. Во многих случаях сушка является одной из важных операций, определяющих не только качество готовой продукции, но и технико-экономические показатели производства в целом [1]. Затраты на электроэнергию и различные виды топлива (теплоносители) для большинства предприятий этих отраслей относятся к числу основных и становятся сопоставимыми с затратами на сырье [1].

Зачастую при управлении процессами сушки известные измерительные приборы влажности в силу ряда особенностей сушильных установок, процесса сушки или самого процесса управления не могут использоваться для достижения сформулированных выше критериев управления процессом. Поэтому в ряде случаев требуется разрабатывать также и информационно-измерительную систему.

Под машинным обучением будем понимать группы методов, позволяющих автоматизировать построение аналитической модели. Это отрасль искусственного интеллекта, основанная на идее, что системы могут обучаться на основе данных, выявлять закономерности и принимать решения с минимальным вмешательством человека.

Наиболее важными факторами, определяющими необходимость применения методов машинного обучения при разработке информационно-измерительных и управляющих систем по выше приведенным критериям, являются следующие:

1 Непрерывное возрастание требования к повышению качества выпускаемых промышленностью материалов, а также к снижению себестоимости выпускаемой продукции; это ведет к необходимости расширения функциональных возможностей разрабатываемых систем, имеющих возможность работы по приведенным критериям.

2 Методы машинного обучения позволяют описывать слабо формализованные процессы объектов, составляющих ТТА, и использовать полученные знания для управления ими.

3 Современные информационно-измерительные и управляющие системы недостаточно используют в процессе функционирования опыт специалистов в области энергосберегающего управления динамическими режимами, а также знания экспертов в управлении процессом сушки пастообразных материалов с целью выпуска качественной продукции.

4 Существующие АСУТП практически не используют разработанные в последние десятилетия методы машинного обучения, позволяющие в автоматизированном режиме выполнять задачи принятия решений по управлению процессами в ТТА с целями энергосбережения, точности выхода на заданный режим, повышения качества выпускаемой продукции без потери производительности процесса.

При разработке информационно-измерительных и управляющих систем ТТА для решения трудно формализуемых задач использовались следующие методы машинного обучения см. таблицу.

Таблица. Задачи, решаемые информационно-измерительными и управляющими системами

Задачи	Методы машинного обучения
Параметрическая идентификация моделей	Нейронные сети
Синтез управляющего воздействия в динамических режимах объектов ИУС в целях экономии энергоресурсов, в том числе при наличии дестабилизирующих факторов.	Объектно-ориентированное представление знаний фреймами. Семантическая сеть представленная в виде И – ИЛИ графа. Представление знаний правилами продукций.
Процедура измерения, лежащая в основе интеллектуальных датчиков используемых в системе	Нейронные сети
Диагностика работоспособности оборудования интеллектуальных датчиков и выбор адекватной модели косвенного измерения значения фактора, влияющего на качество	Семантическая сеть представленная в виде И – ИЛИ графа. Представление знаний правилами продукций. Теория Демпстера-Шафера

выпускаемой продукции	
Определение оптимального управляющего воздействия, позволяющего обеспечить качество выпускаемой продукции не ниже требуемого при оптимальной производительности	Нечеткая логика. Нечеткий логический вывод.
Определения состояния функционирования и распознавание ситуаций управления и измерения	Семантическая сеть представленная в виде И – ИЛИ графа
Обработка потоков информации	Семантическая сеть

Применение методов машинного обучения стало одним из основных факторов повышения производительности разработанных информационно-измерительных и управляющих систем ТТА.

Список используемых источников

1. Артемова, С. В. Методология проектирования интеллектуальной информационно-управляющей системы тепло-технологическими аппаратами : монография / С. В. Артемова, А. А. Артемов, М. А. Каменская. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 196 с. – 300 экз.

**МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕГО
В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ГАУССОВСКИХ
СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН
ПРИМЕНИТЕЛЬНО ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ
СТРУКТУРНОГО ПЕРЕХОДА В ПОЛИМЕРЕ**

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Аннотация: Метод предназначен для обнаружения полезного сигнала в виде структурного перехода в полимере на графической зависимости параметра модели от значений температур с использованием статистических критериев для проверки однородности наблюдений, а также — решающей статистики по кумулятивной сумме. Метод позволяет принимать решение с использованием критерия Колмогорова-Смирнова о принадлежности графической зависимости параметра модели от значений температуры, нормальному закону распределения, а также принимать решение о наличии структурного перехода в полимере в виде полезного сигнала с помощью решающей статистики по кумулятивной сумме.

Ключевые слова: кумулятивная сумма, метод, полезный сигнал, полимер, структурный переход.

«Сегодня очень перспективно создание принципиально новых материалов с заданными свойствами — например, такими, как биосовместимость и биоразлагаемость» (глава Курчатовского института член-корреспондент РАН Михаил Ковальчук).

Метод обнаружение изменения среднего в последовательности гауссовских случайных величин имеет следующий вид.

Пусть имеется выборка $y_1^N = \{y_i\}_{i=1}^N$.

При фиксированном $N = \begin{cases} H_1, (\tau \leq N), \\ H_0 : \mu_i = \theta_0, i = 1, \dots, N. \end{cases}$

Отношение правдоподобия для двух гипотез

$$L_N(y_1^N, \theta_0, \tau, \theta_1) = \frac{\prod_{k=1}^{\tau-1} p_0(y_k) \prod_{k=\tau}^N p_1(y_k)}{\prod_{k=1}^N p_0(y_k)} = \prod_{k=\tau}^N \frac{p_1(y_k)}{p_0(y_k)},$$

где $p_i(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(y - \theta_i)^2}{2\sigma^2}\right\}$, $i = 0, 1$.

Логарифм отношения правдоподобия

$$\begin{aligned}\Lambda_N(\tau) &= \ln L_N(y_1^N, \theta_0, \tau, \theta_1) = \frac{\theta_1 - \theta_0}{\sigma^2} \sum_{k=\tau}^N \left(y_k - \frac{\theta_1 + \theta_0}{2} \right) = \\ &= \frac{\theta_1 - \theta_0}{\sigma^2} \sum_{k=\tau}^N \left(y_k - \theta_0 - \frac{\theta_1 - \theta_0}{2} \right) = S_\tau^N(\theta_0, \nu),\end{aligned}$$

где $S_i^j(\theta, \nu) = \left(\frac{\nu}{\sigma^2} \right) \sum_{k=1}^j \left(y_k - \theta - \frac{\nu}{2} \right)$ — кумулятивная сумма,

$\nu = \theta_1 - \theta_0$ — величина возможного изменения средних.

Поскольку момент разладки τ неизвестен, при построении алгоритма обнаружения разладки его заменяют оценкой $\hat{\tau}_N$, полученной по методу максимального правдоподобия в предположении справедливости гипотезы H_1 :

$$\begin{aligned}\hat{\tau}_N &= \arg \max_{1 \leq \tau \leq N} \left(\prod_{k=1}^{\tau-1} p_0(y_k) \prod_{k=\tau}^N p_1(y_k) \right) = \\ &= \arg \max_{1 \leq \tau \leq N} L_N(y_1^N, \theta_0, \tau, \theta_1) = \arg \max_{1 \leq \tau \leq N} \Lambda_N(\tau) = \arg \max_{1 \leq \tau \leq N} S_\tau^N(\theta_0, \nu).\end{aligned}$$

Тест отношения правдоподобия

$$S_{\hat{\tau}_N}^N(\theta_0, \nu) = \max_{1 \leq \tau \leq N} S_\tau^N(\theta_0, \nu) \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \begin{matrix} H_1 \\ h, \\ H_0 \end{matrix}$$

где h – порог, выбираемый из условия равенства вероятности ошибки 1 рода заданной величины.

Исходные данные для метода имеют следующий вид (рис. 1).

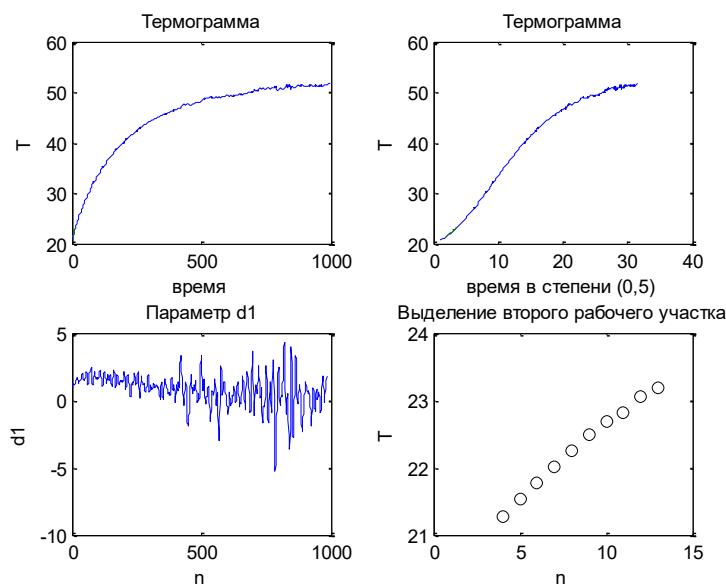


Рис. 1 Зависимости для выделения второго рабочего участка термограммы для материала ПТФЭ

Результатом применения метода является рис. 2.

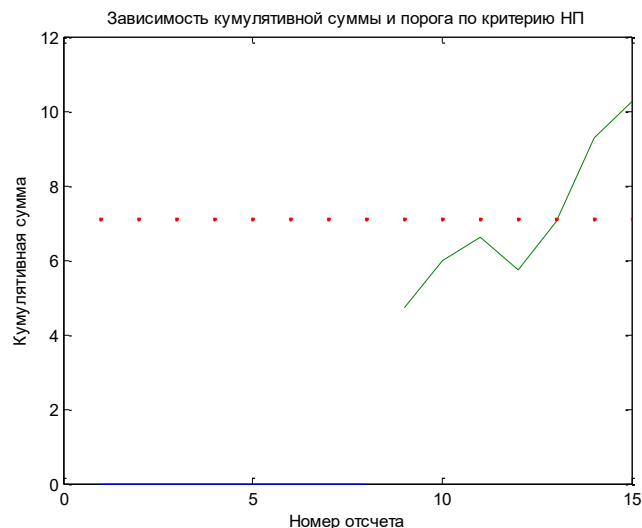


Рисунок 2 – Зависимость кумулятивной суммы и порога по критерию Неймана-Пирсона

Таким образом, показана возможность применения метода для обнаружения полезного сигнала в виде структурного перехода в полимере.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 15-01-08043А.

Барсуков А.А. Дмитриев О.С.

НЕЙРОСЕТЕВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Тамбовский государственный технический университет

Аннотация. В данной статье рассматривается целесообразность и возможность применения нейросетевого моделирования при прогнозировании производства тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения. С использованием фактической статистики отпуска тепловой энергии от источника тепловой энергии, создана нейросеть, которая в зависимости от времени года и температуры наружного воздуха прогнозирует необходимый отпуск тепловой энергии, проведено сравнение с фактическим режимом работы источника тепловой энергии.

Ключевые слова. Нейросетевое моделирование, нейронные сети, централизованное теплоснабжение, производство тепловой энергии.

Согласно Федеральному закону «О теплоснабжении» №190-ФЗ от 27.07.2010, основные принципы теплоснабжения в РФ заключаются в развитии централизованного теплоснабжения, с приоритетом в комбинированной выработке тепловой и электрической энергии [1]. В условиях современной рыночной экономики, любым организациям, осуществляющим теплоснабжение населения тепловой энергией, необходимо планировать годовые и месячные затраты и показатели производства. От объема производства тепловой энергии зависят затраты топлива. Для природного газа, месячные и годовые лимиты расхода газа согласовываются с ресурсоснабжающей организацией, а потребление природного газа сверх лимитов оплачивается по тарифам с повышающим коэффициентом. Для источников тепловой энергии, работающих на жидком и твердом топливе, превышение ранее запланированного расхода грозит снижением запасов топлива. На тех источниках тепловой энергии, где отсутствует возможность бесперебойного топливоснабжения, это грозит остановкой теплоснабжения потребителей в зимний период.

Для устранения вышеописанных рисков, предлагается применять прогнозирование выработки тепловой энергии с использованием нейросетевого моделирования. В современных реалиях, планирование производства тепла с использованием нормативных зависимостей и температурных графиков [2, 3], крайне неточно, в связи с изношенностью тепловых сетей

и высокими потерями в них, а так же отсутствием достоверных значений о тепловой нагрузке подключенных к источнику тепла потребителей.

Нейронные сети представляют собой самообучающиеся системы, эффективно реализующие нелинейные зависимости и точно оперирующие любыми фактическими или экспериментальными данными. Главным преимуществом нейронных сетей, является обучение и обобщение накопленной информации на основе выборки фактической информации. Любые данные, загруженные в нейронную сеть в качестве входных и выходных сигналов, может являться массивом фактической или расчетной информации [4].

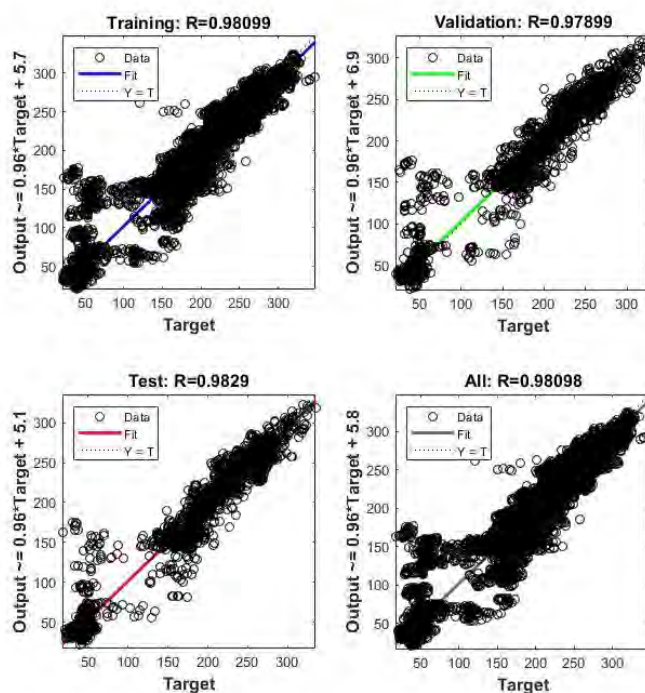


Рисунок 1. Производительность нейронной сети

Для анализа фактической статистики работы источника тепловой энергии применен метод нейросетевого моделирования в программном комплексе Matlab. Моделирование проводилось с использованием плагина NEURON FITTING TOOL, с построением нейронной сети по методу Левенберга-Марквардта. Нейронная сеть была обучена с использованием алгоритмов «с учителем». Было задано три вектора – входных значений (INPUTS), целевой выходных значений (OUTPUTS) и проверочный. В качестве входного вектора использовался статистический массив данных – среднесуточные температуры наружного воздуха в г. Тамбове за 2018-2020 год, время суток и дата. В качестве выходных векторов использовались фактические данные о часовом отпуске тепла в тепломагистрали за период с начала 2018 по сентябрь 2020 года. В результате мо-

делирования была получена нейронная сеть, которая моделирует количество отпущенного тепла потребителям тепловой энергии в зависимости от температуры наружного воздуха, времени года и суток. Для проверки ее работоспособности, загрузим в полученную нейронную сеть фактические среднемесячные значения температур каждого месяца 2019 г. в городе Тамбове и таким образом получим типичную картину суточного отпуска тепла за каждый месяц. Интерполируя полученные данные на весь месяц, получим прогнозные месячные значения отпуска тепла в тепломагистрале (рисунок 2).

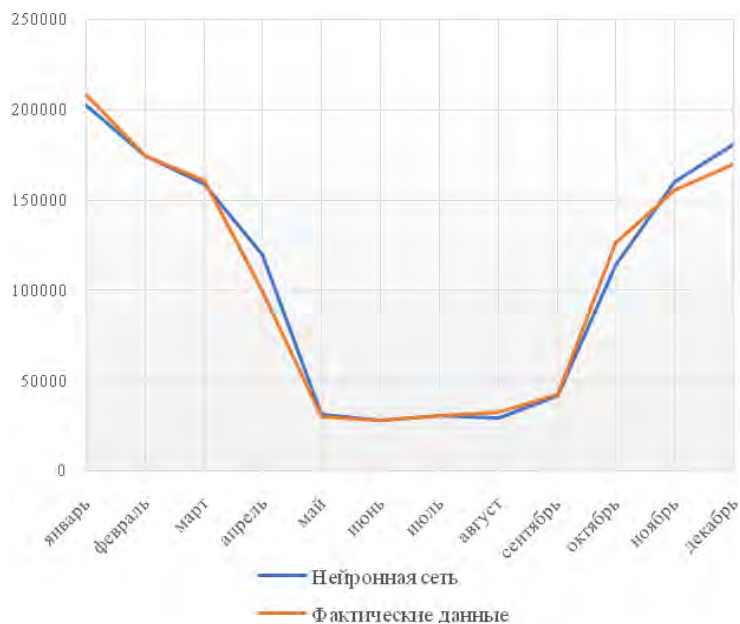


Рисунок 2. Сравнение фактического и прогнозного отпуска тепла от источника тепловой энергии за 2019 год.

Из рисунка 2 видно, что нейронная сеть достаточно точно прогнозирует месячные значения отпуска тепла, за исключением нетипичных переходных месяцев – апреля и октября, когда часть месяца приходится на отопительный, а часть – на неотопительный период. Для получения более точных значений, возможно использовать среднесуточные температуры наружного воздуха и прогнозировать каждый день по отдельности.

В ходе данной работы, мы создали нейронную сеть с помощью которой возможно прогнозировать отпуск тепла от источника тепловой энергии в зависимости от температур наружного воздуха, времени суток и года. Работоспособность данной сети подтверждает возможность использования нейросетевого моделирования для целей планирования производства и затрат на следующий год.

Список использованной литературы

1. Закон Российской Федерации "О теплоснабжении" от 27.07.2010 № 190-ФЗ // Российская газета. - 2010 г. - № 168.
2. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник / Манюк В.И, Каплинский Я.И., Хиж Э.Б. и др. - 3-е изд. перераб. и доп. изд. - М. Москва: Стройиздат, 1988.
3. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: учебник для вузов. – М.: Энергия, 1987. – 328 с
4. В.Д. Семейкин, А.В. Скупченко Моделирование искусственных нейронных сетей в среде Matlab // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. - 2009.

Бесперстова Г.С., Буракова Е.А., Ткачев А.Г., Татаринцев Е.Ю.

РОЛЬ НОСИТЕЛЯ КАТАЛИЗАТОРА В ПРОЦЕССЕ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
(г. Тамбов)*

***Аннотация:** В данной статье исследовалось влияние носителя катализатора на его эффективность в процессе синтеза наноматериалов и характеристики синтезированных на нем углеродных нанотрубок (диаметр, степень дефектности).*

***Ключевые слова:** катализатор, носитель, метод газофазного химического осаждения, углеродные нанотрубки.*

Большинство химических процессов требует применения катализаторов и синтез углеродных нанотрубок (УНТ) методом газофазного химического осаждения (ГФХО) не исключение. В данном процессе катализатор является веществом, на котором непосредственно происходит формирование наноструктур, поэтому катализатор является мощным инструментом управления характеристиками синтезированных на нем УНТ.

Существует огромное количество катализаторов для синтеза УНТ, отличающихся способом получения и составом, однако, все каталитические системы обычно содержат активный компонент, носитель иногда промотор. В качестве активного компонента обычно выбирают металлы с высоким сродством к углероду, как правило, это элементы со свободной d-орбиталью [1], так как на каталитически активных центрах происходит разложение углеводородов и осаждение углерода. Промоторы – не являются каталитически активными компонентами, но введение их в состав катализатора способствуют увеличению его активности и селективности [2,3]. Наличие носителя в составе каталитической системы препятствует спеканию активного компонента в крупные агломераты, не способные к формированию УНТ из-за их склонности к капсулированию. При выборе носителя главным критерием является его инертность в процессе формирования катализатора и синтеза УНТ.

Литературный обзор работ показал, что присутствие носителя в катализаторе способствует синтезу УНТ с большей селективностью по диаметру [4]. При этом от природы носителя зависит также активность катализатора (выход УНТ на катализаторе, полученном на цеолите в 18 раз выше, чем на Al_2O_3). В [5] авторы отметили, что использование Al_2O_3 и

MgO в качестве носителей способствует формированию более эффективных каталитических систем, чем TiO₂ и SiO₂.

Целью работы было изучить роль носителя в составе катализатора. Для достижения цели были поставлены и успешно решены следующие задачи: исследовать катализаторы с простым и сложным носителем; оценить влияние природы носителя на качество синтезируемого нанопродукта.

В качестве объекта исследования была выбрана кобальтсодержащая каталитическая система, полученная методом термического разложения неустойчивых соединений. Для увеличения ее активности в составе катализатора использовали Mo как промотор. Роль носителя выполняли Al₂O₃ и Al₂O₃-MgO. Образцы CoMo/Al₂O₃ и CoMo/Al₂O₃-MgO катализаторов получали при одинаковых условиях, схема получения отражена на рис. 1.

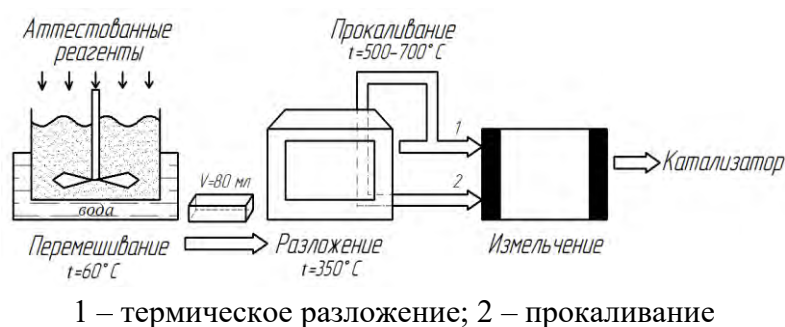


Рис.1 –Схема получения катализатора методом термического разложения солей.

Особое внимание в процессе получения катализатора уделялось стадии термического разложения, которая была организована в 2 этапа. На первом этапе проводилось разложение раствора-расплава при температуре 500 °С в течение 10-15 минут. После чего полученную пористую структуру прокаливали при температуре 700 °С, продолжительность прокаливания варьировали в диапазоне 10-60 минут.

Оценку эффективности полученных катализаторов производили по удельному выходу синтезированных на них УНТ ($k_y, \text{гс/гcat}$). Синтез УНТ

проводили в лабораторном реакторе периодического действия при температуре 650 °С в течение 30 минут, в качестве углеродсодержащего газа использовали этилен, полученные результаты представлены на рис.2.

Анализ рис.2 позволяет сделать вывод о том, что катализатор, сформированный на носителе Al₂O₃ в процессе синтеза УНТ методом ГФХО на 40 % эффективнее каталитической системы на основе Al₂O₃-MgO. Увеличение продолжительности прокаливания сформированных в результате термического разложения предкатализатора металлоксидных систем приводит к увеличению удельного выхода синтезированных на них УНТ на 20-30 %.

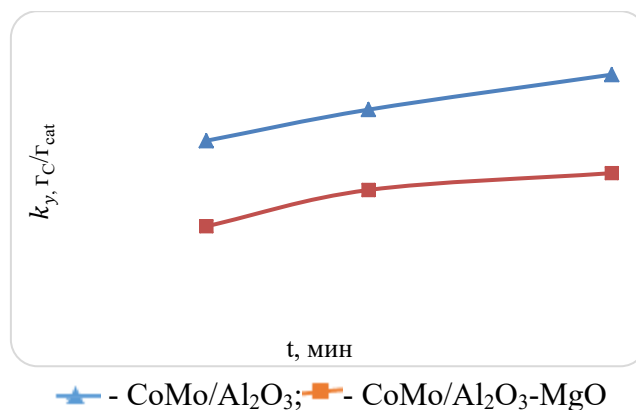


Рис.2 – Влияние состава катализатора и продолжительности термической обработки на удельный выход УНТ ($k_y, \text{г}_C/\text{г}_{\text{cat}}$).

Морфологию УНТ, синтезированных на катализаторах, сформированных в результате прокаливания в течение 60 минут при 700 °С оценивали по SEM-изображениям (рис.3).

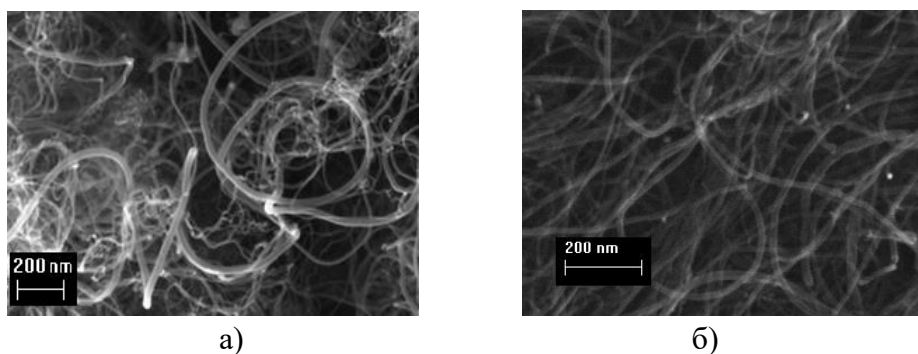


Рис.3–СЭМ изображения УНТ синтезированных на а) CoMo/Al₂O₃-MgO, б) CoMo/Al₂O₃ катализаторах

УНТ синтезированные на CoMo/Al₂O₃ катализаторе имели диаметр 12÷25 нм, в то время как УНТ синтезированные на CoMo/Al₂O₃-MgO-8÷17 нм. Дефектность углеродных нанотрубок оценивалась по интенсивности пиков D/G, которая для всех образцов варьировалась в диапазоне 0,928-1,03.

Проведенные исследования показали, что наиболее эффективным катализатором в процессе синтеза УНТ является CoMo/Al₂O₃ система (26,8 г_C/г_{cat}), однако большей селективностью в отношении диаметров синтезированных УНТ обладал CoMo/Al₂O₃-MgO катализатор. Таким образом, изменение состава носителя катализатора может позволить управлять качественными характеристиками синтезируемых УНТ (диаметр, степень дефектности).

Исследования поддержаны грантом РФФИ 18-43-680005 р_а.

Список используемых источников

1. Zhou, W. Copper catalyzing growth of single-walled carbon nanotubes on substrates / W. Zhou, Z. Han, J. Wang et al. // *Nano Lett.* – V. 6. – 2006. P. 2987–2990. doi:10.1021/nl061871v.
2. Tang S, Zhong Z, Xiong Z, Sun L, Liu L, Lin J, et al. Controlled growth of singlewalled carbon nanotubes by catalytic decomposition of CH₄ over Mo/Co/MgO catalysts. *Chem Phys Lett.* – 2001. – V. 350. Is. 1-2. P. 19–26. doi.org/10.1016/S0009-2614(01)01183-6.
3. Ca, X. Controllable synthesis of carbon nanotubes by changing the Mo content in bimetallic Fe–Mo/MgO catalyst / X. Xu, S. Huang, Z. Yang // *Materials Chemistry and Physics.* – 2011. – Vol. 127, p. 379–384. doi:10.1016/j.matchemphys.2011.02.028.
4. Ohashi, M. Synthesis and diameter control of vertically-aligned carbon nanotube growth from Langmuir–Blodgett films deposited Fe₃O₄@SiO₂ core–shell nanoparticles / M. Ohashi, T. Sugawara, K. Kawasaki // *Japanese Journal of Applied Physics.* – 2014. – 53. - 02BD09. doi:10.7567/jjap.53.02bd09.
5. Takenaka, S. Formation of carbon nanofibers and carbon nanotubes through methane decomposition over supported cobalt catalysts / S. Takenaka, M. Ishida, M. Serizawa // *J. Phys. Chem. B.* – 2004. – 108. – p. 11464-11472. doi.org/10.1021/jp048827t.

*Буракова Е.А., Бесперстова Г.С., Дьячкова Т.П.,
Татаринцев Е. Ю., Ткачев А.Г.*

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТАЛИЗАТОРА СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР

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

***Аннотация.** Изучено влияние термообработки на текстурные характеристики $\text{Co-Mo/Al}_2\text{O}_3$ катализатора синтеза углеродных нанотрубок (УНТ). Экспериментально доказано, что от условий термической обработки на стадии формирования катализатора зависит его морфология и эффективность в процессе синтеза УНТ.*

***Ключевые слова:** катализатор, термическое разложение, синтез, углеродные нанотрубки.*

Несмотря на то, что УНТ находят широкое применение в различных отраслях промышленности, актуальной проблемой остается их синтез с заданными характеристиками. При синтезе УНТ методом газофазного химического осаждения [1] основным фактором, позволяющим регулировать качественные характеристики наноматериала, является катализатор, так как формирование наноструктур происходит на его активных центрах. [2,3]

Анализ литературы показал, что при разработке катализаторов синтеза УНТ особое внимание уделяется изменению их состава [4, 5] и методу получения [6, 7] при этом практически отсутствуют работы, изучающие механизмы их формирования. Знания механизмов формирования катализаторов и закономерностей влияния условий их получения на характеристики синтезируемого нанопродукта могут способствовать не только получению эффективной каталитической системы, но и реализации направленного синтеза УНТ.

Цель работы заключалась в исследовании влияния условий реализации термообработки при формировании катализатора (термическое разложение/прокаливание) на его текстурные характеристики и эффективность в процессе синтеза УНТ. В качестве объекта исследования был выбран $\text{Co-Mo/Al}_2\text{O}_3$ катализатор, полученный методом термического разложения солей.

Процесс получения Co-Mo/Al₂O₃ катализатора заключается в растворении исходных реактивов при нагревании, термообработке полученного предкатализатора и измельчении сформированной металлоксидной каталитической системы. Особое внимание необходимо уделять термообработке [8,9], которая в зависимости от катализатора может быть реализована как в одну (термическое разложение предкатализатора), так и в две стадии (термическое разложение и прокаливание катализатора).

Для достижения поставленной в работе цели были решены следующие задачи: изучена возможность получения катализатора в результате реализации одностадийной термообработки раствора исходных компонентов, способного формировать нанотрубки с заданными характеристиками (диаметр, степень дефектности), и показана роль прокаливания в процессе получения металлоксидного катализатора синтеза УНТ.

В процессе получения катализатора варьировали температуру и время термической обработки. Влияние температуры и продолжительности процесса термообработки предкатализатора (1 стадия / 2 стадии термообработки) на удельную поверхность (а) и эффективность (б) Co-Mo/Al₂O₃ каталитической системы представлена на рис.1. Эффективность полученного катализатора оценивали по удельному выходу синтезированных на нем УНТ ($\Gamma_{\text{УНТ}}/\Gamma_{\text{кат}}$).

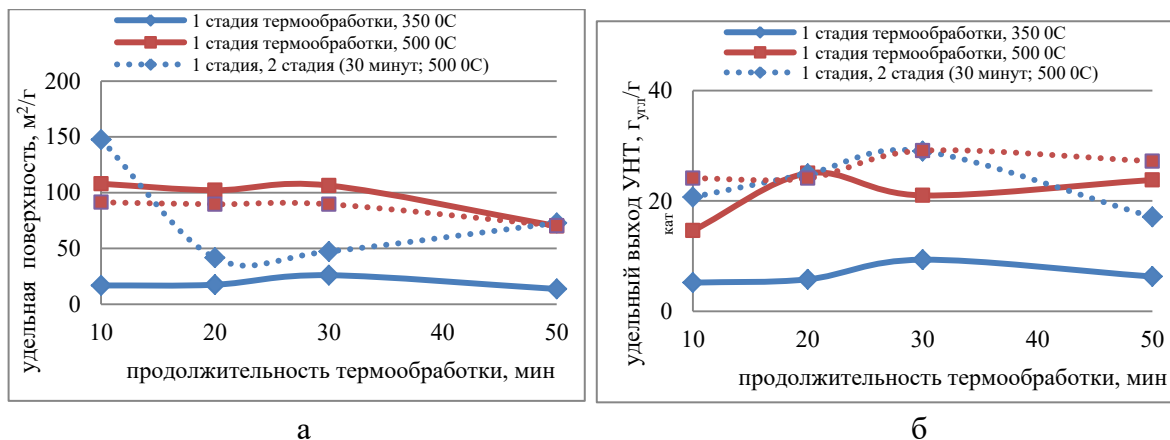


Рис.1. Влияние температуры и продолжительности термообработки (наличия / отсутствия второй стадии) на: удельную поверхность (а) и эффективность (б) Co-Mo/Al₂O₃ катализатора.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что наличие второй стадии термообработки (прокаливания) предкатализатора в процессе получения Co-Mo/Al₂O₃ системы методом термического разложения позволяет повысить не только удельную поверхность катализатора, но и удельный выход синтезированных на нем УНТ в 1,5..3 раза.

Целесообразность наличия стадии прокаливания в процессе получения катализатора исследуемым методом доказана.

Анализ СЭМ-изображений и рамановских спектров синтезированных на образцах Co-Mo/Al₂O₃ катализатора УНТ позволил оценить влияние наличия/отсутствия стадии прокаливания в процессе получения катализатора на качественные характеристики нанопродукта. Степень дефектности УНТ определяли по отношению интенсивностей полос D/G. Все полученные образцы катализатора в процессе синтеза способны формировать многослойные УНТ диаметром 5÷40 нм, но чем выше температура термообработки катализатора, тем выше их степень дефектности.

Катализатор, полученный в результате одностадийной термообработки в течение 30 минут при 350 °С, позволяет синтезировать УНТ с низкой степенью дефектности ~ 0.784. При этом удельный выход УНТ составляет 10 г_{угл}/г_{кат}, увеличение температуры и продолжительности первой стадии термообработки приводит к увеличению I_{D/G} ~ 0.857÷1.1 и уменьшению выхода нанопродукта.

Введение в процесс получения катализатора второй стадии термообработки (прокаливания) приводит к существенному увеличению удельного выхода УНТ и их I_{D/G}, а также уменьшению количества стенок в синтезируемых наноструктурах с 9 до 5.

Таким образом, результаты исследований показали, что влиять на эффективность катализатора и параметры синтезированных на нем УНТ можно не только через изменение состава каталитической системы, но и через параметры реализации процесса получения, например через стадию термообработки. Такой подход к получению катализатора синтеза УНТ позволит не только регулировать эффективность формируемой металлоксидной каталитической системы, но и степень дефектности синтезируемых на ней УНТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-43-680005.

Список используемых источников

1. Ghaemi F, Ali M, Yunus R and Othman R N 2019 Synthesis of Carbon Nanomaterials Using Catalytic Chemical Vapor Deposition Technique Synthesis, Technology and Applications of Carbon Nanomaterials pp 1–27 doi:10.1016/b978-0-12-815757-2.00001-2.
2. Царева С. Ю., Жариков Е.В., Коваленко А. Н. Исследования влияния природы и размера частиц катализатора на образование нанотрубок в методе каталитического пиролиза углеводородов // Наукоемкие технологии. – 2004. – № 6 – С.38-42.

3. *Kukovitsky E.F., L'vov S.G., Sainov N.A., Shustov V.A., Chernozatonskii L.A.* Correlation between metal catalyst particle size and carbon nanotube growth. *J. Chem Phys Lett.* 2002. Vol. 355(5-6). P. 497-503.
4. Magrez A., Seo J.W., Smajda R., Mionić M., Forró L. Catalytic CVD Synthesis of Carbon Nanotubes: Towards High Yield and Low Temperature Growth. *Materials (Basel)*. 2010. 3(11) p. 4871-4891. doi: 10.3390/ma3114871
5. Mai Woon Lee, Muhammad Aniq Shazni Mohammad Haniff, Aun Shih Teh, Daniel C.S. Bien & Soo Kien Chen Effect of Co and Ni nanoparticles formation on carbon nanotubes growth via PECVD, *J Exp Nanosci.* 2015. 10(16). 1232-1241.
6. Guo Y., Zhai G., Ru Y. et al. Effect of different catalyst preparation methods on the synthesis of carbon nanotubes with the flame pyrolysis method // *AIP Advances*. 2018. doi: 10.1063/1.5020936.
7. Esposito S. "Traditional" Sol-Gel Chemistry as a Powerful Tool for the Preparation of Supported Metal and Metal Oxide Catalysts. *Materials*. 2019. 12(4):668.
8. Caner Hocaoglu, Naime A. Sezgi. The Effects of Co-Mo/CaCO₃ Catalyst's Calcination Temperature and Co/Mo Weight Ratio on Carbon Nanotube Production. *J. Chem. Eng Comm.* 2015. Vol. 202(8). P. 1041-1050. doi.org/10.1080/00986445.2014.900051.
9. Abdulkareem A.S., Kariim I., Bankole M.T. Synthesis and Characterization of Tri-metallic Fe Co–Ni Catalyst Supported on CaCO₃ for Multi-Walled Carbon Nanotubes Growth via Chemical Vapor Deposition Technique, *J. of CrossMark*. 2017. – P. 4365-4381.

Грибков А.Н., Залукаева Н.Ю.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОЕМКИМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

***Аннотация:** Рассмотрены особенности функционального моделирования процесса построения информационно-управляющей системы энергоемким технологическим объектом на множестве состояний функционирования.*

***Ключевые слова:** функциональная модель, информационно-управляющая система, энергосберегающее управление, множество состояний функционирования.*

Реинжиниринг технологических процессов, проводимый многими промышленными предприятиями, направлен на повышение качества выпускаемой продукции и энергетической эффективности производства. Практика показывает, что на большинстве предприятий, использующих энергоемкое технологическое оборудование, имеются возможности существенного снижения затрат энергетических ресурсов, а, следовательно, и себестоимости выпускаемой продукции при одновременном обеспечении требуемых качественных характеристик. Одним из важнейших направлений энергосбережения является внедрение информационно-управляющих систем (ИУС), обеспечивающих оптимальное управление энергоемкими технологическими объектами. Примерами таких объектов являются теплотехнологические аппараты (промышленные печи, сушильные установки и т.д.), которые широко распространены и применяются в различных отраслях промышленности.

В процессе построения ИУС сложными технологическими объектами во многих случаях приходится решать целый комплекс научных и инженерных задач, требующих применения сложного математического аппарата (теории оптимальных систем, теории принятия решений, методов искусственного интеллекта и т.д.). Поэтому, подробное рассмотрение процессов разработки ИУС технологическими объектами с целью дальнейшего развития методологии построения таких систем является весьма актуальной задачей.

Решение сформулированной задачи возможно при помощи функционального моделирования. Одним из наиболее наглядных и удобных языков моделирования бизнес-процессов является IDEF0. Функциональная модель позволяет представить процесс в виде совокупности иерархически связанных диаграмм и провести предварительную оценку эффективности моделируемого процесса, а также выявить его возможные недостатки.

На начальном этапе моделирования составляется контекстная диаграмма, которая показывает взаимодействие моделируемого процесса с внешней средой. Контекстная диаграмма процесса построения ИУС энергоемким технологическим объектом, представлена на рисунке 1.

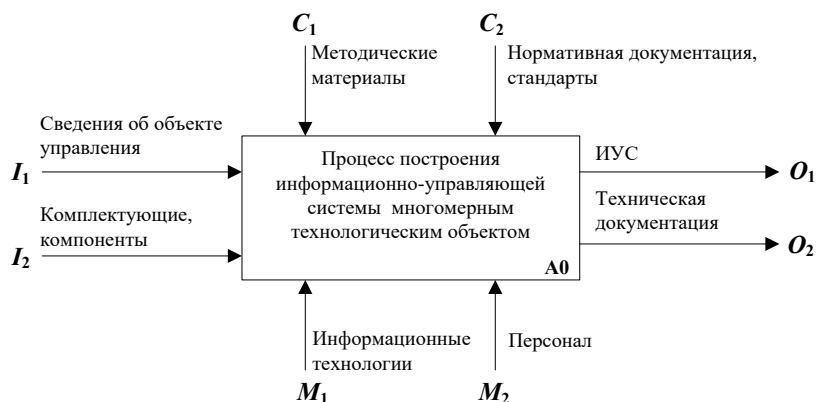


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма

На вход поступает техническое описание объекта управления (характеристики оборудования, технологические режимы работы и т.д.), а также комплектующие и компоненты, необходимые для технической реализации ИУС. На выходе процесса появляется непосредственно разработанная система, а также вся необходимая техническая документация. В качестве управлений рассматриваются методические материалы (методики, используемые при разработке алгоритмического и программного обеспечения и т.д.) и необходимая на различных этапах нормативная документация (стандарты, технические условия и т.д.). Механизмами являются информационные технологии (инструментальное и прикладное программное обеспечение) и персонал, осуществляющий разработку ИУС (системные аналитики, программисты, электронщики и т.д.).

Контекстную диаграмму на следующем уровне детализации можно представить в виде шести блоков, отражающих основные этапы разработки ИУС. На первом этапе разрабатывается концепция будущей системы применительно к конкретному технологическому объекту. На втором этапе осуществляется разработка алгоритмического обеспечения системы. Третий этап включает в себя программно-техническую реализацию системы. На четвертом этапе проводятся испытания разработанной систе-

мы. Последние два этапа включают разработку необходимой документации и последующее сопровождение системы в процессе эксплуатации.

Следует отметить, что этап разработки алгоритмического обеспечения ИУС является наиболее сложным и «наукоемким». В то время как остальные этапы в основном выполняются с использованием известных инженерных методов, например технологии разработки программного обеспечения, методики проведения испытаний, технической реализации ИУС на базе типовых средств автоматизации и т.д.

В процессе построения ИУС необходимо учитывать, что эффективность ее дальнейшего функционирования во многом будет определяться ее свойствами (надежность, точность, быстродействие и т.д.), условиями работы, влиянием различных возмущений и другими факторами, которые могут быть как детерминированными, так и случайными. Для учета перечисленных факторов, алгоритмическое обеспечение ИУС часто строится на основе моделей на множестве состояний функционирования [1].

На рисунке 2 представлена диаграмма декомпозиции для этапа разработки алгоритмического обеспечения. Рассматриваемый процесс можно разделить на четыре подпроцесса: А1 – формализация и постановка задачи оптимального управления (ЗОУ) на множестве состояний функционирования (МСФ); А2 – идентификация математических моделей динамики объекта управления для различных состояний функционирования; А3 – анализ ЗОУ, позволяющий получить вид и параметры функции оптимального управления (ОУ) для заданных исходных данных; А4 – разработка алгоритмов синтеза управляющих воздействий для наиболее вероятных и критических состояний функционирования [2].

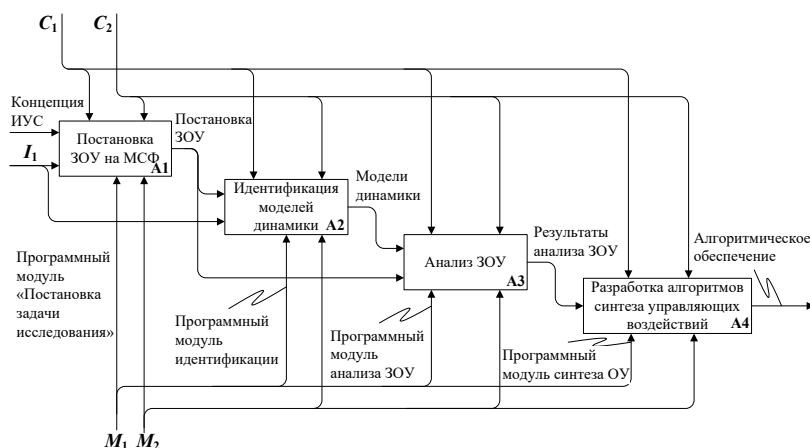


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции

Представленный в виде функциональной модели подход применялся на практике при построении ИУС динамическими режимами вальце-

ленточных и барабанных сушильных установок, промышленных печей и других энергоемких технологических объектов [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №18-08-00555-а.

Список используемых источников

1. Муромцев, Ю.Л. Моделирование и оптимизация технических систем при изменении состояний функционирования / Ю.Л. Муромцев, Л.Н. Ляпин, О.В. Попова. – Воронеж: ВГУ, 1992. – 164 с.
2. Muromtsev, D.Y. Functional modeling of business processes for development of control and monitoring systems / D.Y. Muromtsev, A.N. Gribkov, V.N. Shamkin, A.G. Divin, A.P. Savenkov // Proceedings of the 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). – 2017. – P. 440-442.
3. Грибков, А.Н. Информационно-управляющие системы многомерными технологическими объектами: теория и практика: монография / А.Н. Грибков, Д.Ю. Муромцев. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 164 с.

Залукаева Н.Ю., Грибков А.Н.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

***Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы построения функциональной модели процесса транспортировки грузов, которая позволяет определить наиболее значимые элементы и параметры транспортного процесса для последующей разработки информационно-управляющей системы, обеспечивающей планирование выполнения перевозок с заданными параметрами и контролируемые условия.*

***Ключевые слова:** функциональная модель, управление транспортным процессом.*

Транспорт играет значимую роль в процессе материального производства, поскольку транспортная составляющая присутствует в цене любого товара. Снижение влияния данной составляющей на стоимость конечного продукта является одной из основных задач производителей и продавцов. Сократить данные издержки, возможно только изучив процесс транспортировки поэлементно, т.е. представив процесс в виде сложной системы с последующей декомпозицией на более простые структурные составляющие. Особенности данной системы являются взаимодействие технических средств с человеком и высокая зависимость четкой и точной работы системы от качества организации работы всех участников на каждом уровне информационного взаимодействия.

Следует отметить, что каждый элемент (подпроцесс) транспортной системы с точки зрения управления, можно характеризовать конкретным набором управляемых и измеряемых параметров. Выделение некоторого множества параметров, с достаточной полнотой определяющих объект управления на каждом уровне, позволит сформировать пространство состояний, в котором может пребывать система и решать задачи оптимального управления системой.

Одним из основных этапов построения любой системы управления является формализация и постановка задачи управления, учитывающая все основные особенности объекта управления. В значительной степени данный этап может быть выполнен на основе разработки и анализа функциональной модели рассматриваемого объекта управления. Подробная функциональная модель также позволит оценить эффективность приме-

нения системы управления и выявить возможные недостатки на ранних стадиях ее проектирования [1].

Одним из наиболее наглядных и широко применяемых стандартов моделирования бизнес-процессов является IDEF0.

Функциональная модель, согласно нотации IDEF0, представляет собой набор связанных друг с другом диаграмм, каждая из которых визуалью представляется в виде ориентированного графа, вершинами которого являются прямоугольные блоки, соединенные направленными стрелками.

На начальном этапе моделирования составляется контекстная диаграмма, которая показывает взаимодействие моделируемого процесса с внешней средой, а также описывает общую функциональность моделируемого процесса в целом, без подробностей. На рис. 1 представлена контекстная диаграмма процесса транспортировки груза от отправителя к получателю.

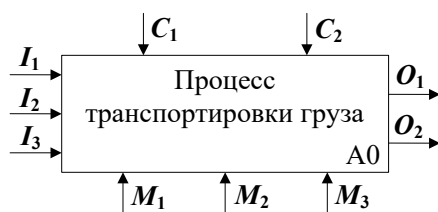


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма

На вход поступает непосредственно груз, который необходимо доставить (I_1), а также информация от грузоотправителя о параметрах груза (I_2) и сроках доставки груза (I_3). Выходом является доставленный груз (O_1) с сохранением качественных и количественных характеристик, а также финансовая прибыль (O_2). Управления – нормативно-правовая документация (C_1) и методические материалы (C_2), регламентирующие процесс транспортировки. В качестве механизмов выступают: программные средства (M_1) – пакеты программ, установленные на рабочих местах сотрудников служб и отделов перевозчика; персонал (M_2), в том числе сотрудники различных структурных отделов предприятия (логисты, диспетчеры, программисты, водители и т.д.), а также сотрудники сторонних организаций (грузчики, экспедиторы, стивидоры и т.д.); транспортные средства (M_3) – грузовой транспорт, спецтехника и т.д.

После построения контекстной диаграммы, осуществляется ее функциональная декомпозиция, при этом моделируемый процесс разбивается на подпроцессы и строится диаграмма декомпозиции первого уровня. Далее каждый подпроцесс разбивается на более мелкие и строятся диаграммы декомпозиции второго уровня. Последующая декомпозиция и

построение диаграмм продолжается до достижения требуемой детализации описания моделируемого процесса.

Проводя декомпозицию контекстной диаграммы, разобьем ее на четыре последовательных и взаимосвязанных блока (рис. 2).

На первоначальном этапе осуществляется планирование и согласование условий перевозки, результатом которого является составление договора перевозки (в случае с первым обращением составляется договор, в случае, с массовой отправкой груза и ранее заключенным договором на длительный срок – заявка на перевозку груза). На втором этапе осуществляется составление транспортной и грузосопроводительной документации. Третий этап включает в себя осуществление перевозки груза, т.е. физическое перемещение материальных объектов. Данный этап является наиболее трудоемким, с точки зрения наличия мелких операций, сопровождающих перевозку (комплектование, упаковка, маркировка, погрузка, перевалка, хранение, выгрузка, очистка подвижного состава с одновременным оформлением сопутствующей документации) [2]. Выходом после данного этапа будет доставленный груз с сохранением количественных и качественных характеристик. На четвертом этапе осуществляется обработка путевой документации, выставление счета и оплата заказчиком выполненной работы. Выходом будет являться получение финансовой выгоды.

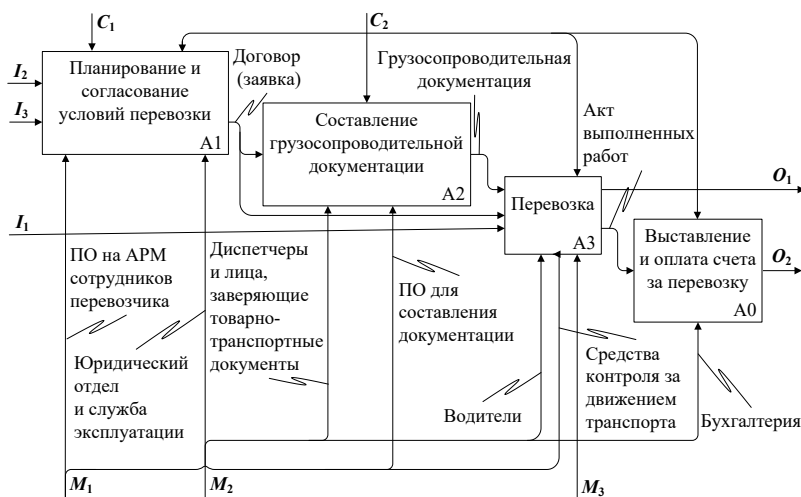


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции первого уровня

Функциональное моделирование системы транспортировки грузов позволяет представить ее в виде четко формализованной совокупности процессов от момента поступления информации о необходимости перевезти груз до момента его доставки конечному получателю и получения материальной выгоды перевозчиком.

Разработанная функциональная модель обеспечивает определение основных элементов и параметров моделируемого процесса, а также выявление факторов, оказывающих влияние на систему и ее составные элементы, что, в дальнейшем, позволит значительно облегчить задачу построения информационно-управляющей системы, обеспечивающей планирование выполнения перевозок с заданными параметрами и контролируемые условиями.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90056.

Список используемых источников

1. Muromtsev, D.Y. Functional modeling of business processes for development of control and monitoring systems / D.Y. Muromtsev, A.N. Gribkov, V.N. Shamkin, A.G. Divin, A.P. Savenkov // Proceedings of the 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). – 2017. – P. 440-442.
2. Залукаева, Н.Ю. Концепция построения информационно управляющей системы процессом транспортировки биотоплива / Н.Ю. Залукаева, А.А. Гуськов // В сборнике: Энергосбережение и эффективность в технических системах. Материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. – Тамбов, 2019. – С. 109-111.

К ВОПРОСУ О ПОКВАРТИРНЫХ СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ В МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ.

¹Липецкий государственный технический университет (г. Липецк).

Аннотация: в работе рассматривается сложившаяся ситуация в поквартирных отопительных системах многоквартирных жилых домов и предлагается решение.

Ключевые слова: система отопления, разводка.

Федеральный закон N261 [1] устанавливает требования к обязательному оснащению индивидуальными приборами учёта теплоты вновь строящихся и реконструируемых жилых многоквартирных домов и отдельных квартир. В настоящее время проектируют многоквартирные жилые здания с поквартирными системами отопления. Проектные решения предполагают в каждой квартире установку прибора учёта расхода теплоты на вводе теплоносителя.

В практике проектирования и строительства многоквартирных жилых зданий г.Липецка разработано несколько принципиальных схем систем поквартирного отопления, в большинстве которых разводящие теплоноситель трубопроводы прокладываются скрытно в полу. Практика эксплуатации таких систем, например, в новых жилых микрорайонах: «Елецкий», «Университетский» и др. наряду с удобством, простотой и комфортом показала отрицательные стороны. По трассе прокладки трубопроводов в полу на его поверхности наблюдается повышенная температура. При проведении измерений температуры поверхности пола в отдельных комнатах некоторых квартир вышеуказанных микрорайонов в период стояния наружной температуры воздуха $-25...-29^{\circ}\text{C}$ эта величина составляла $35...40^{\circ}\text{C}$. Исходя из требований, изложенных в [2], температура на поверхности пола не должна превышать 31°C . Из этого следует, что в квартирах реализованы системы отопления либо с низким качеством проектных решений по разводке трубопроводов, либо с допущенными отклонениями от проекта при монтаже. В системах отопления квартир проложенные в полу трубопроводы становятся греющими элементами. При достаточно хорошей теплопроводности перекрытий, потоки теплоты направляются как в отапливаемую квартиру собственника, так и в квартиру соседа (рис. 1).

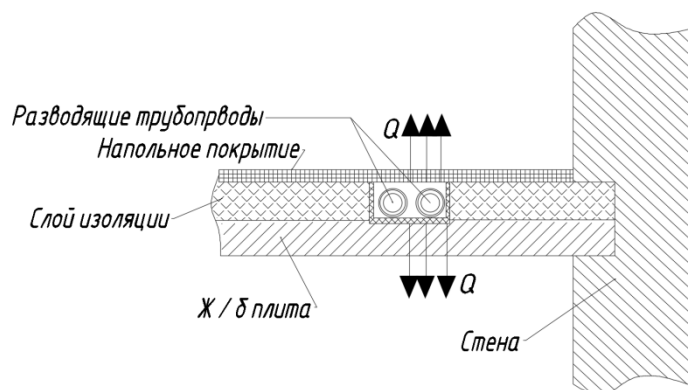


Рис.1.Схема тепловых потоков.

Через межэтажную плиту перекрытия происходят перетоки теплоты, которых бывает достаточно для покрытия тепловых потерь соседних помещений. Некоторые потребители промежуточных этажей поняли, что можно достичь комфортной температуры воздуха в помещении, отключив подачу теплоты в разводящие трубопроводы своих квартир. При этом показания квартирного прибора учёта теплоты за какой-то период оказывались нулевыми. Сложившаяся ситуация привела к тому, что теплоснабжающие компании перестали принимать показания приборов учета расхода теплоты для оплаты за потребленную тепловую энергию и начали выставять счета собственникам квартир по нормативному теплопотреблению.

В соответствии с ФЗ N261 [1] и договорами на поставку тепловой энергии каждый потребитель должен оплачивать потребленный ресурс в собственной квартире. Для этого при подводе теплоты к отопительным приборам необходимо обеспечить теплопоступление от трубопроводов в помещение на уровне 98...99%, т.е. теплопоступление именно в квартиру потребителя.

С целью реализации данной задачи предлагается при проектировании поквартирных систем отопления выполнять либо плинтусную открытую разводку трубопроводов, либо разводку в полу, но при этом доработать конструкцию устройства разводящих трубопроводов, обеспечивающую изоляцию труб с коэффициентом тепловой эффективности 98...99%. При этом необходимо расчетным путем определять температуру на поверхности пола квартиры потребителя и потолка соседней квартиры по трассе прокладки трубопроводов.

Предлагаемая плинтусная разводка заметно уменьшит поступление теплоты в соседнюю квартиру.

При проектировании системы отопления нужно стремиться выполнять разводку по внутренним стенам. В отсутствии таковой возможности, т.е. при прокладке разводящих трубопроводов вдоль наружных

стен в конструкции стены по длине плинтуса необходимо предусматривать дополнительную тепловую изоляцию (рис.2).

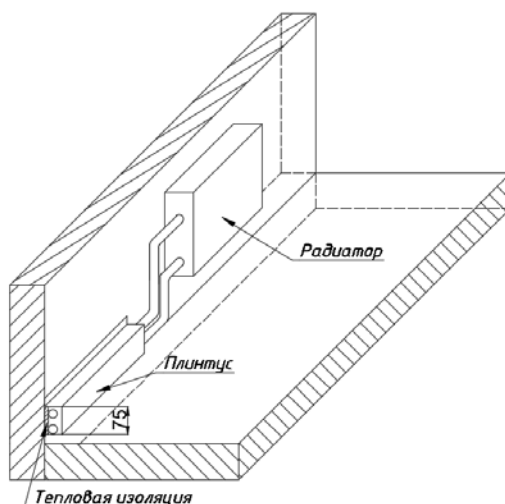


Рис. 2. Плинтусная разводка трубопроводов.

В качестве плинтуса служит съемный защитный короб небольших размеров, который будет выполнять как роль плинтуса внутри каждой квартиры, так и роль архитектурного элемента. Разводящие трубопроводы нужно теплоизолировать современными теплоизоляционными материалами (вспененный каучук, пористые полимеры и пр.).

Таким образом, для устранения вышеуказанного недостатка в поквартирной системе отопления с разводкой в конструкции пола предлагается выполнять плинтусную разводку трубопроводов, скрывая их объемными защитными коробами.

Список использованной литературы

1. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ (последняя редакция) ст.13 п.7 //КонсультантПлюс: справочно-правовая система [Официальный сайт]. URL: <http://www.consultant.ru/>
2. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 (с изменением N 1). М: Минстрой России, 2016.

Корпусов Д.В., Балашов А.А.

МЕТОДЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБАХ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Аннотация: в условиях увеличения сроков эксплуатации трубопроводов тепловых сетей и роста числа аварийных ситуаций особую актуальность приобретает разработка и освоение современных методов непрерывного контроля влажности теплоизоляционного слоя из пенополиуретана (ППУ) предварительно изолированных трубопроводов.

Ключевые слова: контроль влажности, предварительно изолированные трубы, ППУ, теплоизоляционный слой, детектор влажности.

Целью данной статьи является обзор известных методов для контроля влажности ППУ изоляции в предварительно изолированных трубопроводах [1]. Главными задачами статьи являются выявление основных преимуществ и недостатков ранее известных методов контроля.

На сегодняшний день, самым распространенным методом для контроля влажности ППУ изоляции трубопроводов тепловых сетей является метод, основанный на измерении электрического сопротивления между сигнальным медным проводом и металлической трубой. Сопротивление сухого пенополиуретана (ППУ) приближается к бесконечности. В месте увлажнения, а именно, между медным кабелем и трубой, происходит уменьшение сопротивления изоляции $R_{из}$. Данную величину сравнивают с эталонной величиной электрического сопротивления $R_{эт}$. Сопротивление изоляции в сигнальной линии, охватывающей 1 км труб, не должно быть ниже 200 кОм. В случае, когда $R_{эт} > R_{из}$, делается вывод о попадании влаги в слой теплоизолятора. Для локации места увлажнения используется импульсный рефлектометр [2].

Главными достоинствами данного метода контроля влажности являются простота и надежность в эксплуатации оборудования. Среди недостатков метода стоит отметить необходимость в затратах на дополнительные устройства для повышения точности локации участков теплоизоляции трубопроводов с повышенной влажностью.

Вместо переносных приборов для контроля влажности ППУ изоляции трубопроводов планового осмотра теплотрассы предлагается устанавливать модули беспроводной связи на базе технологии ZigBee для ведения непрерывного мониторинга [3]. Такие методы позволят значитель-

но снизить стоимость и время проведения ремонтных работ, быстро и точно определять места возможной протечки, и не допускать существенных потерь ресурсов до начала проведения ремонта.

Сравнительно новым методом контроля влажности в предварительно изолированных трубах является метод с использованием детектора системы оперативного дистанционного состояния изоляции предварительно изолированных трубопроводов тепловых сетей [4]. Данный метод контроля влажности ППУ слоя также основан на определении изменения электрического сопротивления материала тепловой изоляции между петлей сигнальных проводников и стальной рабочей трубой. Детектор состоит из корпуса в антивандальном исполнении, в котором размещены: электронный блок диагностики и трансляции состояния изоляции и сигнальных проводов, выполненный на одной печатной плате, включающий в себя устройство измерения электрического сопротивления тепловой изоляции, контроллер, формирователь одиночного импульса, GSM-модем, а также внутренняя GSM-антенна и вторичный блок питания. Связь предлагаемого технического устройства с диспетчерским пунктом инициализируется в виде одиночного аварийного сигнала в случае намокания изоляции (или контакта провода с металлической трубой) ($R_{из} < 5$ кОм).

Применение такого метода для контроля влажности позволяет снизить эксплуатационные затраты на контроль состояния предварительно изолированных трубопроводов за счет уменьшения оплаты услуг GSM-связи, снизить требования к характеристикам конфигурации компьютера диспетчерского пункта снять ограничения по установке приборов в общественных местах (улица, подвальные помещения и т.п.).

Среди недостатков метода контроля влажности ППУ изоляции предварительно изолированных трубопроводов детектором стоит отметить невысокую точность в локации места намокания изоляции предварительно изолированных трубопроводов и отсутствие возможности регистрации степени увлажнения теплоизоляционного слоя.

Среди современных методов контроля влажности в предварительно изолированных трубах выделяют метод с применением цифровых датчиков влажности [5].

Данный метод основан на измерении влажности пенополиуретановой изоляции полупроводниковыми цифровыми датчиками влажности и температуры, которые расположены на расстоянии 0,3...0,5 метра друг от друга непосредственно в слое ППУ изоляции труб. Датчики влажности припаяны к лентовидной гибкой печатной плате. У каждого датчика свой уникальный адрес, который зависит от местоположения на трассе. Сигналы от датчиков поступают на контроллер, который опрашивает их и пере-

даёт сигнал о месте намокания ППУ изоляции на центральный диспетчерский пункт.

Метод для контроля влажности цифровыми датчиками является усовершенствованным аналогом метода, основанного на измерении электрического сопротивления между сигнальным медным кабелем и металлической трубой [5]. Кроме этого, применение цифровых компонентов для контроля влажности теплоизоляционного слоя трубопроводов дает следующие преимущества:

- регистрация факта и степени увлажнения теплоизоляционного слоя;
- возможность привязки цифрового кода каждого датчика к схеме трубопровода, что позволит с точностью установки датчиков обнаружить место повреждения без использования дополнительного локатора;
- контроль температуры позволяет осуществлять температурную коррекцию показаний влажности;
- высокая помехоустойчивость, удобство представления информации, возможность ее хранения.

Среди недостатков метода контроля влажности цифровыми датчиками отмечают высокие затраты на электронные компоненты, способные работать в условиях повышенных температур, возникающих в процессе химической реакции компонентов ППУ и в процессе эксплуатации тепло-сети. Также стоит отметить, что в предлагаемой системе метода контроля увлажнения изоляции трубопровода точность определения местоположения повреждения зависит от расстояния между датчиками.

Таким образом, в данной статье представлен обзор известных методов для контроля влажности в предварительно изолированных трубах тепловых сетей, выявлены основные достоинства и недостатки каждого метода. В дальнейшем, авторами статьи планируется разработка совершенно нового метода для контроля влажности ППУ изоляции трубопроводов тепловых сетей с учетом всех недостатков и ограничений у ранее существующих систем контроля.

Список используемых источников

1. ГОСТ 30732-2006. Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2007.
2. Финогеев, А.Г., Финогеев, А.А. Системы оперативного дистанционного контроля // Надежность и качество: Статья в сб. трудов Международного симпозиума. – Пенза: Изд. ПГУ, 2009. - т. 2 – С. 124 – 126.

3. Финогеев, А.Г., Дильман, В.Б., Маслов, В.А., Финогеев А.А. Система беспроводного оперативного дистанционного мониторинга и управления сетями городского теплоснабжения на основе сенсорных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://inno-terra.ru/sites/default/files/98-107.doc>
4. Патент 132895. Российская Федерация, МПК G01N 27/10. Детектор системы оперативного дистанционного контроля состояния изоляции предварительно изолированных трубопроводов транспортировки тепловой энергии: №2013119276/28: заявл. 25.04.2013: опубл. 27.09.2013 / Ю.А. Горин, А.С. Чемоданов, С.Я. Якубович, Р.Г. Сафин. – 6 с.
5. Болотов, С.В. О возможности использования датчиков влажности для контроля состояния трубопроводов тепловых сетей / С.В. Болотов, Н.В. Герасименко, М. Акпануром // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2015. – С. 281.

Кузьмин С.Н., Кох-Татаренко В.С., Небываев А.В.

К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОКИСЛЕНИЯ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

ТГТУ, Кафедра «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»

Использование технологии кипящего слоя позволяет решить задачу создания телогенерирующих систем, обладающих высокой эффективностью и пригодных для использования различных видов низкосортного топлива с высоким показателем зольности и низкой теплотой сгорания.

Однако, технология сжигания топлив в кипящем слое не лишена и определенных недостатков. Самосегрегация топливных частиц во время удаления летучих веществ вредна для эффективной и бесперебойной работы камер сгорания с псевдоожигенным слоем [1]. Мерри и Дэвидсон [2] предложили индуцировать вихри в масштабе, сопоставимом с высотой слоя («Гольфстрим») посредством неравномерного распределения псевдоожигающего газа на распределителе.

Как показано на рисунке 1, при организации циркуляции типа «Гольф-стрим» воздух (или какой-либо другой газ) подается с большей скоростью вблизи вертикальных стенок, ограничивающих слой.

В современной литературе отсутствует обоснование именно такого газораспределения на входе в кипящий слой, как показано на рисунке 1.

Также неизвестно, как циркуляция типа «Гольфстрим» повлияет на процесс сжигания низкорекреационных углей с большим содержанием частиц размером до 0,5 мм. К таким топливам относится антрацитовый штыб. Основные проблемы при переоборудовании угольных котельных заключались в значительных потерях антрацитового штыба с уносом и неустойчивостью горения штыба.

Вполне вероятно, что организация циркуляции твердых частиц в кипящем слое по типу циркуляции «Гольфстрим» будет способствовать разрушению зон локальной циркуляции частиц в кипящем слое и даст возможность эффективно сжигать антрацитовый штыб.

Циркуляция «Гольфстрим» способствует также более интенсивному протеканию процессов теплообмена между кипящим слоем и погруженным в него поверхностям теплообмена [3].

Поэтому, хотя гидродинамическая структура кипящего слоя может быть исследована различными методами [4-6], несомненный практический интерес представляют результаты исследования гидродинамической

структуры слоя на основе измерения интенсивности теплообмена между слоем и погруженным в него теплообменным элементом.

Для организации различных видов входного воздухораспределения использовались три перфорированные решетки. Первый вариант решетки имеет равномерное по площади живое сечение, второй вариант предусматривает большее живое сечение в центре, в третьем варианте большее живое сечение расположено на периферии. Схема решетки представлена на рисунке 2.

При «плоском» входном профиле скорости воздуха с увеличением начальной высоты слоя до 0,1 м интенсивность теплообмена в центре аппарата и на половине его радиуса в 1,1 – 1,35 раз выше, чем в периферийных зонах слоя.

При «выпуклом» входном профиле скорости воздуха интенсивность процессов теплообмена в слое существенно выше, чем при «плоском» входном профиле скорости воздуха.

При скорости воздуха 0,49 м/с интенсивность теплообмена в кипящем слое начальной высотой 0,05 м в 1,5 – 1,6 раза выше, чем при «плоском» профиле при той же скорости воздуха.

При повышении скорости воздуха до 0,73 м/с имеет место резкое, до 400 Вт/м² град., повышение интенсивности теплообмена примерно на середине радиуса аппарата.

При «вогнутом» входном профиле скорости воздуха с ростом последней, также, имеет место рост интенсивности теплообмена в сравнении с «плоским» входным профилем скорости воздуха.

Причем при «вогнутом» входном профиле скорости воздуха на высоте слоя 0,1 м интенсивность теплообмена выше интенсивности теплообмена в слое с начальной высотой 0,05 м в 1,5 – 3,5 раза.

Приведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1) С другой стороны, «вогнутое» входное воздухораспределение обеспечивает практически одинаковую интенсивность процессов теплообмена во всем объеме слоя. Это позволяет предположить, что «вогнутое» входное газораспределение обеспечивает одинаковую интенсивность процессов тепло – и массообмена, а также химических реакций, осуществляемых в кипящем слое.

2) Надо также отметить, что сохранение однородной гидродинамической структуры кипящего слоя с увеличением скорости воздуха при «вогнутом» входном профиле позволяет предположить, что с таким профилем скорости воздуха можно получить топку с более широким диапазоном регулирования мощности без снижения эффективности сжигания твердого топлива.

Эти обстоятельства позволяют сделать вывод о предпочтительности применения «вогнутого» входного газораспределения, формирующего в кипящем слое циркуляцию «Гольфстрим».

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что организация внутрислойной циркуляции «Гольфстрим» обеспечивает условия для равной интенсивности протекания тепловых и химических процесса в различных зонах кипящего слоя, препятствует формированию зон локальной циркуляции частиц и зон предпочтительного подъема газовых пузырей.

Это создает условия для эффективного сжигания низкорекреационных топлив с высоким содержанием пылевых фракций типа антрацитовые штыбы.

Список использованных источников

1. G. Bruni, R. Solimene, A. Marzocchella, P. Salatino, J. G. Yates, P. Lettieri and M. Fiorentino. Self-segregation of high-volatile fuel particles during devolatilization in a fluidized bed reactor. *Powder Tech.*, 128:11- 21, 2002.
2. J. M. D. Merry, J. F. Davidson. Gulf-stream circulation in shallow fluidizedbeds. *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, 51: 361-368, 1973.
3. P. Salatino, P. Ammendola, P. Bareschino, R. Chirone, R. Solimene Improving the thermal performance of fluidized beds for concentrated solar power and thermal energy storage // *Powder Technology* 290 (2016) 97–101.
4. Deigado S., Briongos J. V., Accosta – Iborra A., Santana D. Multiple Orifice Bubble Generation in Gas-Solid Fluidized Beds: The Activation Region Approach Proceeding on International Conference FLUIDIZATION XIII – New Paradigm in Fluidization Engineering, Edited by Sang Done Kim, Yong Kang, JeaKeun Lee and Yong ChilSeo, ECI, 2010. pp. 73 – 80.
5. Nawaz Z., Sun Y., Chu Y., Wei F. Mixing Behavior and Hydrodynamic Study of Gas-Solid-Solid Fluidization System: Co-Fluidization on FCC and Coarse Particles Proceeding on International Conference FLUIDIZATION XIII – New Paradigm in Fluidization Engineering, Edited by Sang Done Kim, Yong Kang.
6. А. В. Лыков. Теория теплопроводности. Москва. Высшая школа. 1967.

Образцов Д.В., Чернышов В.Н.

ПОВЫШЕНИЕ МОЩНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Аннотация: Рассмотрен метод активного технологического контроля параметров синтезируемых катализаторов на электролитах твердооксидных топливных элементов. Используя предлагаемый метод, возможно получать катализатор с максимальной активной площадью, что приводит к увеличению мощности топливного элемента.

Ключевые слова: топливный элемент, островковый катализатор.

Производство топливных элементов является многоступенчатым технологическим процессом и для получения топливных элементов с заданными параметрами необходимо проводить технологический контроль на всех основных этапах. Твердооксидные топливные элементы являются одними из широкоиспользуемых и применяются на средних и крупных электростанциях ввиду того, что могут работать на различных видах углеводородного топлива и не требует использования платинового катализатора [1]. На эксплуатационные параметры готового твердооксидного топливного элемента влияют такие факторы как неравномерная толщина твердооксидного электролита, неравномерное нанесение катализатора на поверхность твердооксидного электролита, а также недостаточная адгезия катализатора к его поверхности [2].

Для создания топливных элементов с большим технологическим ресурсом и удельной мощностью необходимо проводить технологический контроль на основных этапах их производства. На сегодняшний день в производстве топливных элементов практически приблизились к технологическому пределу толщины твердооксидного электролита, что делает невозможным увеличение удельной мощности топливного элемента в данном направлении.

В связи с этим актуальной задачей является увеличение удельной мощности твердооксидных топливных элементов за счет увеличения каталитической активности используемого катализатора.

Для реализации предлагаемого метода в вакуумную камеру на заданном расстоянии от испарителя катализатора помещают керамические пластины твердооксидного электролита. Рядом с керамическими пласти-

нами твердооксидного электролита помещают первый контрольный образец. Контрольный образец состоит из керамической пластины твердооксидного электролита с расположенными на его поверхности первичными измерительными преобразователями (ПИП) в виде группы электродов.

Метод и реализующая его микропроцессорная система измерения и контроля позволяют в режиме реального времени управлять процессом синтеза островкового катализатора на поверхности твердого электролита путем измерения с помощью ПИП емкости и сопротивления синтезируемого островкового катализатора. Остановка процесса напыления происходит в момент достижения катализатором максимальной площади, что фиксируется с помощью ПИП в виде пика емкости образованной островковой структурой катализатора.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 06-08-00673-а Исследование влияния нанобъектов (нано-волокон, нанотрубок и фуллеренов) на структуру и свойства технологических сред)

Список используемых источников

1. Дунюшкина Л.А. Твердооксидные топливные элементы с пленочным электролитом: проблемы и перспективы // Электрохимическая энергетика. 2016. Т. 16, №4. С. 196-206
2. Кузьмин А.В., Строева А.Ю., Горелов В.П. Протонопроводящие оксиды на основе LaScO₃ в тонкопленочном и керамическом состоянии // Физико-химические проблемы возобновляемой энергетики: сб. тр. Рос. Конф. СПб., 2013. С. 31-32.

Папин В.Е., Губарев В.Я.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В СВЕРХЗВУКОВЫХ СОПЛОВЫХ РЕШЕТКАХ

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)

Аннотация: в работе с помощью программного комплекса ANSYS моделируются течения газа в сверхзвуковой сопловой решетке. Анализируется влияние наличия трения и подвода тепла на значение числа Маха в критическом сечении сопла. Исследуется эффект отклонения потока относительно оси в косом срезе сопловой решетки.

Ключевые слова: моделирование, сопло, число Маха, сопловая решетка

В статье [1] были рассмотрены неадиабатные течения в осесимметричном сопле Лавалья, но часто подобные течения имеют место в сверхзвуковых сопловых решетках напряженных и высокоэффективных газовых турбин.

Сопловая решетка в отличие от осесимметричного сопла Лавалья имеет несимметричный профиль скоростей, получаемый за счет возникновения центробежной силы. Кроме того, меняется угол выхода потока из сопла. При этом характер изменения параметров различных течений в сопловой решетке должен качественно соответствовать результатам, полученным для осесимметричного сопла Лавалья в статье [1]. Целью данной работы является моделирование течений в сверхзвуковых сопловых решетках при наличии трения и подвода тепла, используя программный комплекс Ansys.

Для проверки этого соответствия была построена геометрическая модель одного из каналов сопловой решетки с определенными геометрическими размерами: характерный размер входного сечения 0,02 м, выходного 0,02 м, критического сечения 0,01 м, угол наклона оси относительно вертикали – 15°. На геометрическую модель решетки была наложена расчетная сетка со средним размером ребер элементов, равным 0,0001 м. Для расчета гидродинамики применялась модель турбулентности SST k- ω .

После создания расчетной сетки был произведен расчет течений с различными величинами шероховатости и тепловыделения при постоянстве начальных параметров потока.

Изначально было проведено моделирование идеального изоэнтропийного течения, результаты которого позволили верифицировать полученную модель и использовались в дальнейшем анализе.

Результаты расчета с учетом сил трения показывают, что при течи газа в шероховатых каналах, в результате трения газа о стенку, имеет место диссипативный подвод энергии, что приводит к повышению температуры и снижению скорости газа относительно изоэнтропийного течения. При этом значение числа Маха в критическом сечении снижается (рис. 1).

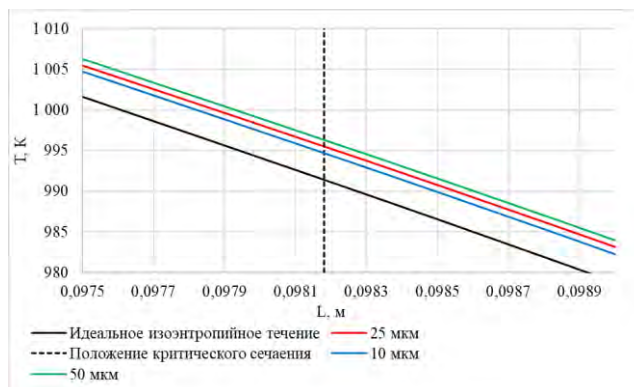


Рис. 1 – График изменения температуры потока по оси сопла для различных величин шероховатости.

В таблице 1 представлены конкретные значения числа Маха в критическом сечении сопла.

Таблица 1 – Значения числа Маха в критическом сечении при различных значениях шероховатости

Значение числа Маха в критическом сечении	Величина шероховатости, мкм		
	10	25	50
$M_{кр}$	0,9900	0,9873	0,9849

Было проведено моделирование течений с различными значениями внутренних тепловыделений, которые имеют место при догорании топлива в каналах сопловой решетки. Значения тепловыделения отнесены к геометрическому объему соплового канала. График распределения температур в этом случае представлен на рис. 2.

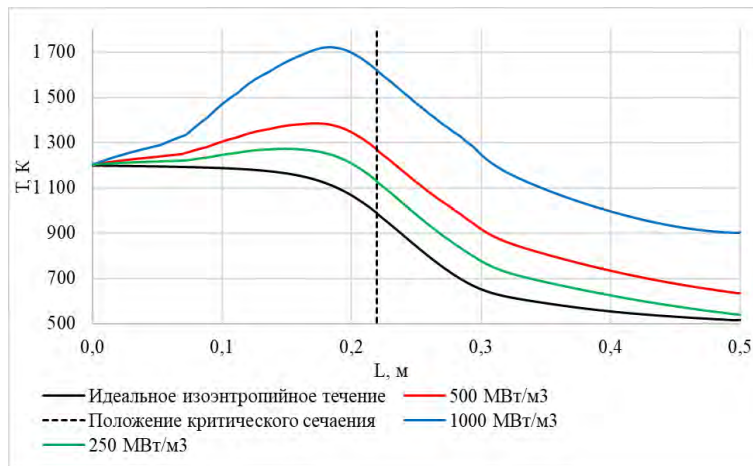


Рис. 2 – График изменения температуры потока по длине сопла для различных величин тепловыделения.

Значения числа Маха и скорости в критическом сечении сопла представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения числа Маха и скорости потока в критическом сечении при различных значениях объемного тепловыделения

Значение параметров потока в критическом сечении	Величина объемного тепловыделения, МВт/м ³		
	250	500	1000
$M_{кр}$	0,9944	0,9905	0,9850
$W_{кр}$, м/с	657	683	741

Как известно, в сопловых решетках имеет место отклонение потока от оси сопла при его расширении в косом срезе (рис. 3, 4).

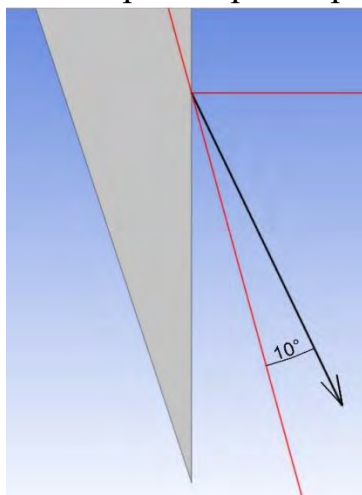


Рис. 3 – Вектор скорости потока на выходе из косого среза при изэнтропийном течении

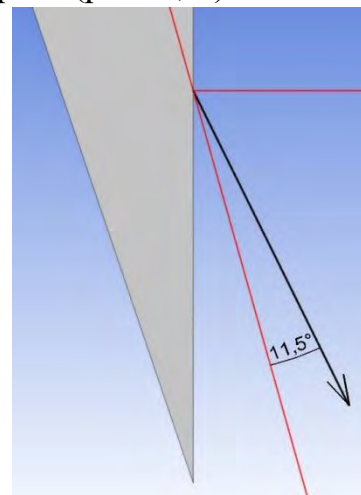


Рис. 4 – Вектор скорости на выходе из косого среза при неизэнтропийном течении

При моделировании изэнтропийного течения угол отклонения потока в косом срезе составил 10° (рис. 3), а при моделировании течения с

учетом трения при шероховатости 50 мкм и подводом тепла 1 ГВт данный угол увеличивается и принимает значение $11,5^\circ$ (рис. 4).

Выводы

По результатам моделирования неизоэнтروпийных течений в сверхзвуковой сопловой решетке наблюдается полное качественное соответствие с аналогичными течениями в осесимметричном сопле Лавалья.

Для неизоэнтропийных течений в сверхзвуковых сопловых решетках скорость потока в критическом сечении не равна скорости звука. При учете диссипации кинетической энергии потока в результате трения его о стенку и объемном тепловыделении, критическая скорость меньше скорости звука и $M_{кр} < 1$, а дальнейшее увеличение скорости вплоть до сверхзвуковой происходит в расширяющейся части сопла.

В сверхзвуковых сопловых решетках газовых турбин происходит отклонение потока в косом срезе сопла относительно оси, а при подводе тепла эффект отклонения потока увеличивается.

Вышеизложенные выводы могут быть использованы при расчете сверхзвуковых сопел. Они позволяют уточнить расход через сверхзвуковое сопло и действительные значения скорости и угла отклонения потока на выходе из сопла.

Список используемых источников

1. Анализ неизоэнтропийных течений в сопловых каналах / Губарев В.Я. [и др.] // Технологии физики, автоматизации и информатики. Тенденции развития современной науки: материалы конф. – Липецк: ЛГТУ, 2020. – С. 19-24.
2. Губарев, В.Я. Неадиабатные течения в соплах / Издательство Першина Р.В. // Энергосбережение и эффективность в технических системах: сб. статей. – Тамбов, 2018. – С. 60-63.
3. Абианц, В. Х. Теория авиационных газовых турбин / В.Х. Абианц. – Москва: Государственное издательство оборонной промышленности, 1953. – 216 с.

Платёнкин А.В., Чернышов В.Н.

КОНСТРУКЦИЯ ПЛАНАРНОГО ТВЕРДООКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

Тамбовский государственный технический университет

***Аннотация:** Предложена конструкция для планарного ТОТЭ, полученная последовательным нанесением всех слоев тонкопленочной ячейки на пористую металлическую подложку. Функциональные слои ячейки получены по технологии плазменного напыления с использованием плазмы на постоянном токе, индуцированной высокочастотным излучением.*

Эта методика является альтернативным подходом к традиционно используемым методам спекания для изготовления ТОТЭ без необходимости каких-либо стадий спекания или другой термической обработки.

***Ключевые слова:** ТОТЭ, технология плазменного напыления, конструкция ТОТЭ*

Повышение плотности мощности, срока службы и, прежде всего, снижение производственных затрат являются актуальными задачами всех разработок, проводимых в настоящее время в области разработки твердооксидных топливных элементов. Современные исследования сосредоточены на возможностях, позволяющих снизить рабочую температуру, на усовершенствовании конструкций ячеек и батарей и на более экономичных процессах производства соответствующих материалов и компонентов ячеек. Модульный принцип создания ТОТЭ предполагает производство большого количества одиночных ячеек, собираемых в единую батарею [1].

Первое поколение ТОТЭ имело конструкцию в виде электролит-поддерживаемых ячеек с толщиной электролита 150-200 мкм. Поскольку омические потери в основном вызваны толщиной электролита, разработка была сосредоточена на уменьшении толщины электролита в следующих поколениях ТОТЭ, что означало переход к электрод- (в основном анод) или подложка-поддерживаемых конструкций [2].

На рисунке 1 показана модель получаемой планарной тонкопленочной конструкции на металлической подложке в качестве основания ТОТЭ, которая основана на технологии плазменного напыления, для изготовления всей ячейки.

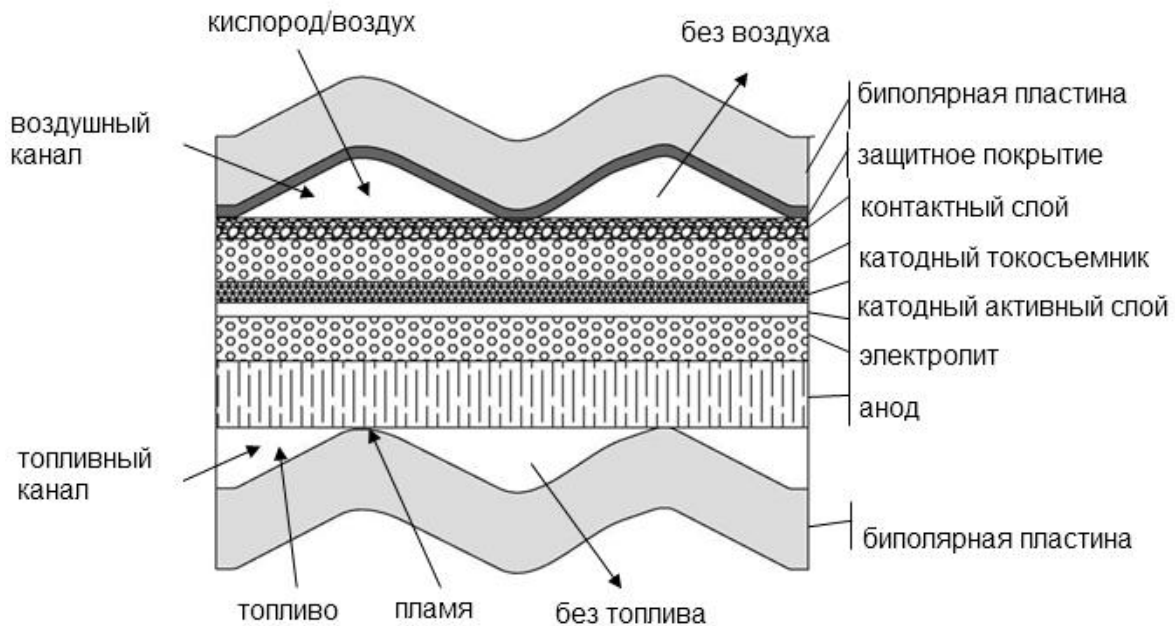


Рисунок 1 – Модель планарного ТОТЭ, полученного методом плазмохимического распыления

Механическая прочность тонкопленочного элемента, а также отличная электрическая и теплопроводность обеспечиваются открытой пористой металлической подложкой, которая также служит распределителем топливного газа. Все функциональные слои ячейки – анод, электролит и катод – последовательно осаждаются на эту подложку методом многоступенчатого вакуумно-плазменного напыления в рамках одной процедуры. Переход от керамической опоры к металлической подложке значительно снижает проблему образования трещин, что приводит к большим размерам ячеек и упрощению конструкции штабеля. Предпосылкой для такой конструкции ячейки и штабеля с пористой металлической подложкой является наличие долгосрочного стабильного и коррозионно-стойкого материала с адекватным поведением теплового расширения, связанным с компонентами керамической ячейки. Разработка такого подходящего металлического субстрата является важным направлением при разработке технологии для реализации концепции плазмохимического распыления.

При анализе экспериментов по плазменному напылению ячеек были предложены две конструкции стека для стационарного и мобильного применения с соединениями из ферритовой стали. На фиг. 2а показана конструкция стека для стационарного применения с относительно толстой обработанной соединительной пластиной, рамой и ячейкой в сборе.

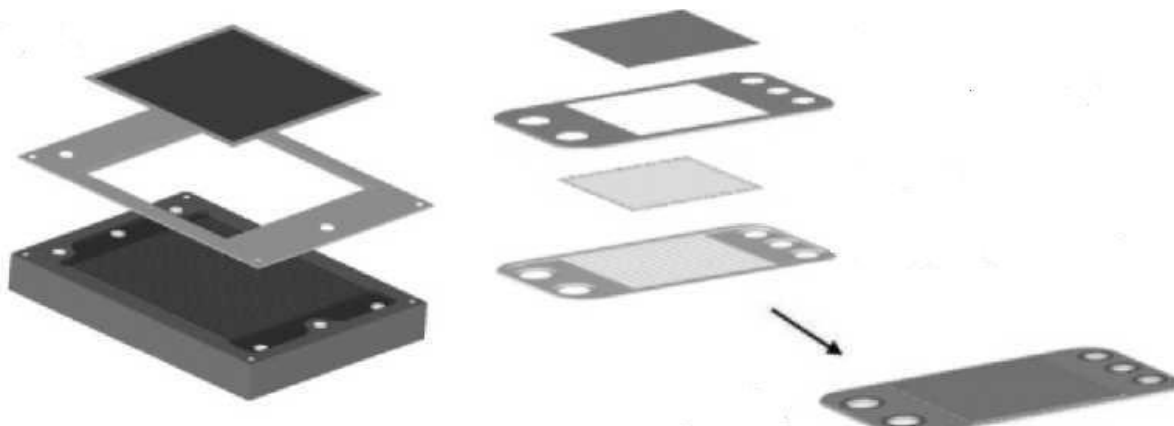


Рисунок 2 – Модель конструкции стека ТОТЭ для а) стационарного и б) мобильного применения

Внутренние коллекторы для топливного газа и воздуха используются с распределением газа по механическим газовым каналам в противоточном режиме. Перед нанесением металлическая подложка закрепляется на соединительной пластине путем пайки и лазерной сварки с ободом каркаса. Функциональные керамические слои ячейки формируются плазменным напылением на подложку в едином процессе. Дополнительная изоляция между соединительными пластинами достигается перфорированной фольгой. Для применения ТОТЭ как вспомогательный источник питания, для бортового производства электроэнергии в кораблях и самолетах, технология создания стека была доработана для уменьшения объема и веса. Эта технология основана на применении тонких штампованных металлических листов, которые сварены лазером для формирования металлической кассеты с интегрированной металлической подложкой (рисунок 2б).

Основной элемент ячейки, мембранно-электродный узел (МЭУ), должен обладать высокой пористостью (>20%) электродных слоев, но, с другой стороны, очень низкую замкнутую пористость электролита (менее 2%). Для достижения оптимальных качеств различных слоев МЭУ были проведены экспериментальные работы и адаптации в отношении материалов и параметров обработки. Используемые металлические подложки представляют собой никелевый войлок или ферритные стальные конструкции, такие как войлок, вспененные или тканые проволочные сетки, с пористостью в диапазоне 50-80%. Никель проявляет отличные окислительно-стойкие свойства, но обладает слишком высоким рассогласованием в тепловом расширении с компонентами керамической ячейки, что вызывает серьезные проблемы в случае больших размеров подложки. Ферритная сталь показывает гораздо лучший адаптированный коэффициент теплового расширения, но ее коррозионная стойкость менее выражена.

Применение высокоскоростной плазменной стужи является необходимым требованием для нанесения плотных высокоплавких электролитных покрытий YSZ толщиной всего 20-40 мкм.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 06-08-00673 «Исследование влияния нанобъектов (нановолокон, нанотрубок и фуллеренов) на структуру и свойства технологических сред»

Список используемых источников

1. P. Sharma, K. L. Singh, C. Sharma and S. Mago 2019 Effect of Microwave Sintering on the Properties of Zirconia Based Ceramic Electrolytes for Solid Oxide Fuel Cells. Trans. Indian Ceram. S. vol. 78, pp. 20-23.
2. M Shahien, M Suzuki, Y Tsutai 2018 Controlling the coating microstructure on axial suspension plasma spray process. Surf Coat Tech, vol. 356, pp. 96-107

Кузьмин С. Н., Исьемин Р. Л., Муратова Н. С., Кох – Татаренко В. С.

ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНОГО ИНДЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИГОДНОСТИ НОВЫХ ВИДОВ ГРАНУЛИРОВАННОГО БИОТОПЛИВА

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

Ключевые слова: биотопливо, отжиг, топливный индекс

Резюме

По результатам анализа химического состава рассчитаны топливные индексы, позволяющие прогнозировать процессы эмиссии микроэлементов, расплавление золы с образованием шлаковых агломератов, а также коррозию поверхностей котлов при сжигании трех видов биотоплива (гранулы из соломы, из лузги подсолнечника и подстильно – пометной массы). Анализу подвергались как «сырые» гранулы, так и гранулы, подвергнутые отжигу (обработке в бескислородной среде при температуре 250 °С).

Анализ топливных индексов показал, что наиболее пригодным к использованию является биотопливо, произведенное из подстильно – пометной массы птицефабрик, при условии его обеззараживания, что может быть осуществлено в процессе отжига биотоплива.

Сохраняющийся высокий уровень цен на традиционные энергоносители и ужесточение экологических требований к энергетическим установкам обуславливают интерес к использованию в качестве топлива биомассы. Для сокращения затрат на хранение и транспортировку биотоплива, для механизации и автоматизации топочных процессов исходную биомассу уплотняют, перерабатывая её в гранулы (пеллеты).

Вместе с тем, в последнее время многие предприятия биотопливного сектора испытывают серьёзные трудности с реализацией своей продукции в связи с монополизацией европейского рынка и выходом на рынок северо-американских производителей, которые дотируются государством при производстве гранул из пораженной грибком древесины.

Выход из создавшегося положения виден в производстве биогранул, обладающих улучшенными технико-экономическими характеристиками, позволяющими с минимальными затратами транспортировать их на значительное расстояние при сохранении их высокой теплоценности.

Таковыми свойствами обладают гранулы, изготовленные из сырья, прошедшего предварительную термическую обработку (отжиг) при температуре ~ 300 °С в отсутствие окислителя, так называемый процесс торрификации (torrefaction) [1, 2]. Отожженная биомасса имеет объёмное теплосодержание на 20-25 % выше, чем обычная биомасса, она влагостойкая и не подвержена гниению. Затраты на доставку такого биотоплива снижаются на 20 – 25 %, а удельные выбросы парниковых газов при производстве и доставке биотоплива снижаются на 12,5 – 30 %.

Эффективность процесса отжига биомассы достаточно обоснованно доказана в лабораторных условиях, однако, не существует экономически оправданной технологии его промышленной реализации. Возникают также серьёзные и пока не разрешённые проблемы при сжигании биогранул, изготовленных из твёрдых отходов сельского хозяйства (солома, лузга гречихи, подсолнечник и т.п., а также птичий помет и его смесь с подстилкой). Эти проблемы связаны с тем, что зола указанных отходов обладает низкой температурой плавления и при сжигании гранул из твёрдых отходов сельского хозяйства в топочных устройствах быстро образуются золо-шлаковые агломераты, препятствующие эффективному горению этого биотоплива. Кроме того, некоторые виды биотоплива вызывают коррозию поверхностей нагрева котла.

Очевидно, что является важным предварительная оценка экологических и коррозионных опасностей, возникающих при сжигании того или иного вида биотоплива, до производства этого топлива и его практического использования. Такая оценка ранее была предложена в работе [3] и была основана на расчете топливных коэффициентов.

В настоящей работе этот метод применен для оценки исходного («сырого») и отожженного гранулированного биотоплива, произведенного из соломы, подстилочно – пометной массы и лузги подсолнечника. Отжиг гранул проводился в среде с низким содержанием кислорода при температуре 250 °С в течении 1 часа.

Характеристики гранул из лузги подсолнечника приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Характеристики гранул из лузги подсолнечника

Наименование показателя	«Сырые» гранулы	Гранулы после отжига
Влажность %.	11,4	6,7
Содержание золы, %	3,7	6,1
Химический состав		
С, %.	49,6	59,9
Н, %	5,9	5,0
Н, %.	0,8	1,09
S, мг/кг	1550	1970
мол.	48,33	61,44
Cl, мг/кг	684	634
мол.	19,29	17,88
Si, мг/кг	661	1480
мол.	23,53	52,69
Ca, мг/кг	3420	5670
мол.	85,44	141,47
Mg, мг/кг	1940	3440
мол.	79,82	141,53
P, мг/кг	840	1340
мол.	27,12	43,26
K, мг/кг	11300	19700
мол.	289,02	503,85
Na, мг/кг	39	64,4
мол.	1,696	2,8
Zn, мг/кг	10,8	39,9
мол.	0,165	0,61
Pb, мг/кг	6,1	10
мол.	0,029	0,048
Низшая теплота сгорания, МДж/кг.	16,0	20,7
Содержание летучих веществ, %	75,6	54,8

Характеристики гранул, изготовленных из соломы, приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристики гранул из соломы

Наименование показателя	«Сырые» гранулы	Гранулы после отжига
Влажность %.	8,6	3,3
Содержание золы, %	11,5	14,4
Химический состав		
С, %.	43,4	47,1
Н, %	5,6	5,1
Н, %.	0,55	0,67
S, мг/кг	917	936
мол.	28,598	29,191
Cl, мг/кг	289	313
мол.	8,15	8,828
Si, мг/кг	312	399
мол.	11,11	14,2
Ca, мг/кг	377	477
мол.	9,41	11,92
Mg, мг/кг	145	183
мол.	5,966	7,529
P, мг/кг	569	732
мол.	18,37	23,63
K, мг/кг	14600	18600
мол.	373,42	475,72
Na, мг/кг	362	480
мол.	15,81	20,88
Zn, мг/кг	8,3	13,3
мол.	0,127	0,203
Pb, мг/кг	10,0	10,0
мол.	0,048	0,048
Низшая теплота сгорания, МДж/кг.	14,3	16,7
Содержание летучих веществ, %	70,9	60,7

Характеристики гранул, изготовленных из подстильно-помётной массы, представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Характеристики гранул из подстилочно-помётной массы

Наименование показателя	«Сырые» гранулы	Гранулы после отжига
Влажность %.	8,55	4,4
Содержание золы, %	13,7	20,8
Химический состав		
С, %.	48,3	50,46
Н, %	6,36	6,13
Н, %.	5,03	8,5
S, мг/кг	66	62
мол.	2,06	1,93
Cl, мг/кг	28	32
мол.	0,789	0,902
Si, мг/кг	398	421
мол.	14,17	14,99
Ca, мг/кг	276	325
мол.	6,89	8,11
Mg, мг/кг	154	188
мол.	6,34	7,74
P, мг/кг	237	306
мол.	7,65	9,88
K, мг/кг	169	225
мол.	4,32	6,52
Na, мг/кг	8	13
мол.	0,35	0,565
Zn, мг/кг	196	298
мол.	2,99	4,55
Pb, мг/кг	35,2	35,2
мол.	0,169	0,169
Низшая теплота сгорания, МДж/кг.	15,42	18,49
Содержание летучих ве- ществ, %	73,5	56,6

Представленные в таблицах 1.1 – 1.3 данные были проанализированы на предмет исследования потенциальных возможностей эмиссии аэрозолей и образования отложений на конвективных поверхностях нагрева котла, риска высокотемпературной коррозии этих поверхностей, выбросов окислов серы и HCl, а также проблем, возникающих из –за низкой температуры плавления золы биотоплива и связанной с этим опасностью образования в слое агломератов золы и шлака и дефлюидизации.

Известно [3], что сумма концентраций K, Na, Zn и Pb является индикатором эмиссии аэрозолей и образования отложений на конвективных поверхностях нагрева котла.

Соотношение $2 S/Cl$ – показывает риск высокотемпературной коррозии этих поверхностей.

Соотношение $(K+Na)/[(2S+Cl)]$ – предсказывает эмиссию окислов серы и HCl .

Соотношение $(Si+K+P) / (Ca+Mg)$ указывает на возможность возникновения проблем, возникающих из –за низкой температуры плавления золы биотоплива и связанной с этим опасностью образования в слое агломератов золы и шлака и дефлюидизации.

Указанные выше соотношения приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Оценка рисков выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, коррозии конвективных поверхностей нагрева и образования агломератов золы и шлака при сжигании «сырых» и отожженных гранул.

Показатель	Гранулы из соломы		Гранулы из лузги подсолнечника		Гранулы из подстильно – пометной массы	
	«Сырые»	После отжига	«Сырые»	После отжига	«Сырые»	После отжига
$K+Na+Zn+Pb$, мг/кг	15000	19100	11400	19800	408,2	571,2
$2S/Cl$, мол./мол.	7,0	7,0	5,0	6,55	5,18	4,28
$(K+Na)/[(2S+Cl)]$, мол./мол	5,95	7,38	2,83	3,6	0,95	1,49
$(Si+K+P) / (Ca+Mg)$, мол./мол	26,2	26,4	2,067	2,12	1,98	1,98

Анализ представленных в таблице данных показывает, что при сжигании соломенных гранул высока вероятность эмиссии таких компонентов как K , Na , Zn и Pb в атмосферу. Но эта вероятность снижается при сжигании гранул из лузги подсолнечника и гранул из подстильно – пометной массы. Причем, отжиг гранул несколько повышает вероятность этой эмиссии.

При сжигании соломенных гранул высока вероятность солянокислотной коррозии конвективных поверхностей нагрева ($2S/Cl = 7,0$) и термообработка не влияет на этот показатель. С другой стороны, риск такой коррозии при сжигании гранул из лузги подсолнечника и, тем более гранул из подстильно – пометной массы, значительно ниже.

Показатель для всех трех видов гранул $(K+Na)/[(2S+Cl)] > 1$, т.е. можно ожидать низкий уровень эмиссии SO_x и HCl , причем термообработка снижает риск этой эмиссии.

Показатель $(Si+K+P) / (Ca+Mg)$ очень высок для соломенных гранул и термообработка практически не влияет на возможность расплавления золы и образования агломератов. С другой стороны, риск образования агломератов при сжигании гранул из лузги подсолнечника и гранул из подстильно – пометной массы на много ниже.

Таким образом, с точки зрения обеспечения надежности процесса сжигания и работы топочного устройства, самыми проблемными являются соломенные гранулы. Самыми беспроблемными с точки зрения сжигания оказываются гранулы из подстильно – пометной массы.

Гранулы из лузги подсолнечника в плане надежности процесса сжигания занимают промежуточное положение между соломенными гранулами и гранулами из подстильно – пометной массы.

Проблемы, возникающие при сжигании соломенных гранул, с одной стороны, и более высокая теплота сгорания гранул из лузги подсолнечника, особенно после их отжига, с другой стороны, обусловили интерес к этому виду биотоплива у наших зарубежных партнеров. В связи с планами перевода ряда крупных котельных и ТЭЦ в Австрии на сжигании гранул из лузги подсолнечника, производимых в Румынии, Украине или в России стало актуальным проведение сравнительных исследований по сжиганию «сырых» и отожженных гранул, изготовленных из данного вида сырья.

Гранулы из подстильно – пометной массы, ввиду возможного наличия в них патогенной микрофлоры, на данный момент не интересуют потребителя, хотя отжиг позволяет полностью обеззаразить эти гранулы [4].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90041.

Список использованных источников

1. Bergman, P. C., Boersma, A. R., Zwart, R. W. R., & Kiel, J. H. A. (2005). Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations. Energy Centre of Netherlands, Report No. ECN-C-05-013.
2. Bach, Q. V., & Skreiberg, Ø. (2016). Upgrading biomass fuels via wet torrefaction: A review and comparison with dry torrefaction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 665-677.
3. Sommersacher, P., Brunner, T., & Obernberger, I. (2011). Fuel indexes: a novel method for the evaluation of relevant combustion properties of new biomass fuels. *Energy & Fuels*, 26(1), 380-390.
4. Isemin, R. L., Mikhalev, A. V., Milovanov, O. Y., Stepansova, L. V., & Solopov, V. A. Development of the Technology of Poultry Litter Treatment into Organic Fertilizer through Its Decontamination by the Low-Temperature Pyrolysis Method.

Чернышов В.Н., Платёнкин А.В.

РАЗРАБОТКА ПОРИСТЫХ КАТОДНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЖИДКИХ ПРЕКУРСОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПЛАЗМЫ

Тамбовский государственный технический университет

***Аннотация:** В работе предлагается метод получения катодных слоев для твердооксидных топливных элементов. Катодные слои получают методом высокочастотного плазменного напыления. Отличительной особенностью предлагаемого метода заключается в напылении катодного слоя из жидких прекурсоров исходных материалов.*

***Ключевые слова:** высокочастотная плазма, твердооксидные топливные элементы, плазменно-химическое осаждение из газовой фазы, жидкие прекурсоры, катод*

Индуктивно-связанная высокочастотная (ВЧ) плазма с ее собственными свойствами, такими как объемная, но относительно медленная плазменная струя, с соответствующим длительным временем пребывания частиц в плазме, а также безэлектродная генерация плазмы, обеспечивающая широкий диапазон плазменных атмосфер, обладает множеством преимуществ для проведения плазмохимического напыления при использовании жидких прекурсоров, таких как суспензии и растворы. Этот так называемый процесс плазменно-химическое осаждение из газовой фазы (ПХГФО) позволяет применять простые, недорогие жидкие прекурсоры для синтеза и осаждения желаемого продукта с высокими скоростями осаждения. При применении специальных условий, в этом процессе могут образовываться высокопористые покрытия со структурой столбчатого типа [1].

Жидкие прекурсоры с помощью перистальтического насоса впрыскиваются непосредственно в горячую плазменную сердцевину с помощью распылителя с газовой форсункой. Водные растворы нитратов металлов соответствующих элементов используются в качестве прекурсоров для получения катодных покрытий перовскитного типа. В условиях ПХГФО все количество прекурсора испаряется в плазме. В пересыщенном паре образуются кластеры, которые становятся устойчивыми ядрами для гетерогенного зародышеобразования на поверхности подложки, что приводит к столбчатой микроструктуре (рисунок 1).

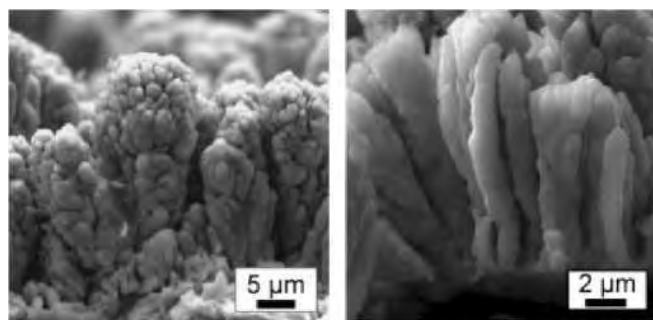


Рисунок 1 - СЭМ-изображение плазменно напыленных покрытий перовскита

Во время роста слоя перовскита первоначально образуются игольчатые монокристаллы, которые затем сливаются в столбчатую микроструктуру с высокой открытой пористостью. Это идеальная микроструктура для применения в качестве катода твердооксидного топливного элемента, предлагающая эффективные вертикальные и горизонтальные пути миграции газа и создающая большое количество реакционных зон [2]. Фазовую чистоту перовскитных покрытий нелегко достичь, но это возможно сделать, если приготовить чистую перовскитную фазу, заменив La на Pr в фазе феррита кобальтита, легированного стронцием ($\text{Pr}_{0.58}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_3$), что подтверждается рентгеноструктурным анализом. Ожидается улучшение электрохимических характеристик с этими катодами по сравнению с обычными электродами, полученными плазменным напылением на постоянном токе из порошковых прекурсоров, т.к. электрохимические характеристики таких электродов страдают от ограниченной пористости из-за их плоской микроструктуры.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 09-08-01166-а «Исследование механизмов воздействия нанобъектов на структурные состояния и свойства наномодифицированных материалов»

Список используемых источников

1. Фан, Э.С. Разработка суспензионных плазменно-напыленных керамических слоев лантана перовскита для чистых энергетических технологий / Э.С. Фан. – Торонто: Университета Торонто, 2016. – 150 с.
2. Чао, Я. Оценка нано-субмикронных тонкопленочных покрытий, полученных из суспензии плазменным напылением. / Я. Ванг, Ф.Пейроут, Х.Ляо, Г. Монтанов, М.Р. Планш, Я. Илавский, А. Ласалль, А. Альмант // Технология обработки поверхностей и покрытий. –2019. – № 378. –С. 1–7

Чиен¹ В.Ч., Артемова¹ С.В., Каменская² М.А.

НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА В УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ СУШКИ В СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ВАЛЬЦЕ-ЛЕНТОЧНОГО ТИПА

Российский технологический университет –МИРЭА¹,
Тамбовский государственный технический университет²

Аннотация. Рассматривается применение нечеткой логики при синтезе управляющих воздействий минимизирующих потери качества производимой продукции и производительности процесса сушки. Используются введенные лингвистические переменные, функции принадлежности лингвистических переменных и классы ситуаций. Возможные алгоритмы управления представляют собой системы продукционных правил, соответствующих классам ситуаций.

Ключевые слова: нечеткая логика, продукционные правила, множество состояний функционирования, алгоритм синтеза управляющего воздействия.

На повышение конкурентоспособности отечественной продукции существенное влияние оказывают критерии качества выпускаемой продукции и производительность процесса производства. Поэтому при модернизации промышленных предприятий особое внимание следует уделять созданию информационных систем управления (ИУС) технологическими процессами производства продукции позволяющих минимизировать функционал Q следующего вида:

$$Q = F(\Delta Q_p, \Delta P_z, \bar{x}, \bar{u}) \rightarrow \min_{\bar{u}},$$

где $\Delta Q_p, \Delta P_z$ – потери, вызванные снижением качества конечной продукции и производительности процесса; \bar{x}, \bar{u} – векторы возмущающих и управляющих воздействий.

Основным этапом создания ИУС процесса сушки в многокамерных сушильных установках является определение лингвистических переменных. В качестве входных рассматриваются: Φ_n – «влажность материала выходе n -й камеры», Φ_{n+1} – «влажность материала на выходе $(n+1)$ -й камеры» и M_k^k – оценки меры доверия достижения требуемой влажности исследуемого материала на выходе сушильной установки. Определяемой выходной переменной является $U^{сп}$ – требуемое значение, на которое следует изменить скорость движения ленты. Условимся обозначать термы входных переменных следующим образом

$$\Phi_n, \Phi_{n+1} = \{\text{ННД, НД, Д, ВД, НВД}\}; M_k^k = \{\text{М, СР, В}\}.$$

Функции принадлежности выходной переменной $U^{\text{сп}}$, принимающей одно из пяти значений: СПОВ – значение, на которое требуется сильно повысить скорость движения ленты; ПОВ – значение, на которое необходимо повысить скорость движения ленты; О – скорость движения ленты оставить неизменной; ПОН – значение, на которое требуется понизить скорость движения ленты; СПОН – значение, на которое необходимо сильно понизить скорость движения ленты, т.е. $U^{\text{сп}} = \{\text{СПОН, ПОН, О, ПОВ, СПОВ}\}$.

Выделим следующие классы, соответствующие различным алгоритмам управления, на множестве состояний функционирования.

I. Класс ситуаций K_o , характеризующийся тем, что значения влажности материала в контролируемых камерах принадлежат допустимому диапазону.

II. Класс ситуаций $K_{\text{пр}}$, характеризующийся тем, что значения влажности материала в контролируемых камерах ниже допустимых, или намного ниже допустимых. В этом случае можно повысить производительность процесса без ухудшения качества выпускаемого материала.

III. Класс ситуаций K_n , характеризующийся тем, что значения влажности материала в n -й камере выходят за допустимые пределы, а в $(n+1)$ -й камере – принадлежат допустимому диапазону.

IV. Класс ситуаций K_{n+1} , характеризующийся тем, что значения влажности материала в n -й камере принадлежат допустимому диапазону, а в $(n+1)$ -й камере – выходят за допустимые пределы.

V. Класс ситуаций $K_{n,n+1}$, характеризующийся тем, что значения влажности материала в обоих контролируемых камерах выходят за допустимые пределы.

Синтез управления процессом сушки с применением рассмотренных классов ситуаций состоит в следующем. В текущий момент времени t для синтеза управляющих воздействий необходима следующая информация: значения влажностиматериала в контролируемых камерах φ_n и φ_{n+1} ; мера доверия к требуемой конечной влажности материала, рассчитанная методом Демпстера–Шафера. В памяти управляющего устройства должна находиться информация о множестве состояний функционирования, классах возможных ситуаций, системе нечетких продукционных правил, функциях принадлежности имеющихся лингвистических переменных.

Возможные алгоритмы управления, представляющие собой системы продукционных правил, определяются, учитывая множество n изменения траекторий, выбранные классы возможных ситуаций $K_{\text{пр}}, K_n, K_{n+1}, K_{n, n+1}$ и вышеописанные лингвистические переменные.

Сначала идентифицируется подмножество ситуаций на основе ранее полученной информации. Затем идентифицируется класс ситуаций, соответствующий алгоритму управления. При этом, если все элементы множества H принадлежат классу K_0 , то сохраняется режим работы с выбранным на предыдущем шаге управлением $u(t - \Delta t)$.

Если же каждый элемент множества H принадлежит классу K_{np} , то в этом случае следует решить задачу повышения производительности ТТА при ограничении на качество конечного материала.

Когда компонент $h_n(\cdot)$ множества H принадлежит классу K_n , решается задача управления режимом только для n -й камеры.

В том случае, когда компонент $h_{n+1}(\cdot) \in K_{n+1}$, необходимо решить задачу управления режимом для $(n + 1)$ -й камеры.

Когда ситуация принадлежит классу $K_{n,n+1}$, решаются задачи управления режимами одновременно для двух камер.

Алгоритм синтеза управляющих воздействий содержит следующие этапы.

I. Производится фаззификация входных лингвистических переменных – влажностей материала в n -й и $(n+1)$ -й камерах Φ_n , Φ_{n+1} и меры доверия M_k^k к достижению требуемой влажности на выходе сушильной установки, в частности определяются значения функций принадлежности термов указанных лингвистических переменных.

II. Производится нечеткий вывод с использованием продукционных правил зависящих от класса ситуаций.

III. Производится так называемая аккумуляция, а именно полученные нечеткие множества для термов выходной лингвистической переменной объединяются в одно нечеткое множество.

IV. Производится преобразование (дефаззификация) выходной лингвистической переменной в численные значения изменения скорости движения ленты с использованием трех различных методов (метод центра тяжести; метод медианы; метод первого максимума), в результате получается множество значений управляющих воздействий $\{\Delta u_1^{cl}, \Delta u_2^{cl}, \Delta u_3^{cl}\}$.

V. Формируется интервал допустимого изменения управляющих воздействий $U_{доп}^{cl}$ на основе полученных значений. Для данного интервала рассчитывается оптимальное значение $(\Delta u_o^{cl})^*$, при котором функционал

$$Q = c_1(a_0 + a_1 \tilde{u}_o^{cl}) + c_2(b_0 + b_1 (\tilde{u}_o^{cl})^2) \rightarrow \min_{u_o^{cl} \in U_{доп}^{cl}},$$

и учитывает потери от снижения качества конечной продукции и производительности сушильной установки.

Применение ИУС сушильными установками вальце-ленточного типа позволило увеличить вероятность выхода качественной продукции до 0,98, а также повысить производительность процессов сушки на 5%.

Список используемых источников

1. Артемова, С. В. Методология проектирования интеллектуальной информационно-управляющей системы тепло-технологическими аппаратами : монография / С. В. Артемова, А. А. Артемов, М. А. Каменская. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 196 с. – 300 экз.

**СЕКЦИЯ 2.
ГЕНЕРАЦИЯ, ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Бородин М.В., Зубов А.А.

**СПОСОБ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет
имени Н.В. Пархина», г. Орел, Россия*

***Аннотация.** В статье представлен способ диагностирования машин постоянного тока. Предложенный способ позволяет диагностировать множество неисправностей машин постоянного тока.*

Annotation. The article presents a method for diagnosing DC machines. The proposed method allows you to diagnose many malfunctions of DC machines.

***Ключевые слова:** способ, диагностирование, машина постоянного тока.*

Keywords: method, diagnosis, DC machine.

Несоответствие нормальным режимам работы машин постоянного тока (МПТ) приводит к экономическому ущербу из-за недоотпуска продукции, ее порчи, снижению производительности предприятий, простоя оборудования, и другим негативным последствиям. Анализ статистических данных по рекламационной работе всего станочного оборудования различных предприятий, позволяет сделать вывод, что 40 % отказов приходится на МПТ. При этом существенную долю отказов электродвигателей составляют неисправности щеточно-коллекторного узла (КЩУ).

В литературных источниках [1-6] указывается, что в настоящее время существует большое количество способов диагностирования КЩУ машин постоянного тока, но все они имеют как положительные стороны, так и отрицательные. Для реализации диагностирования коллекторно-щеточного узла МПТ необходимо разработать способ, который позволял бы диагностировать МПТ по различным параметрам, применяя разные способы диагностирования. В свою очередь устройство должно иметь функцию «щадящего» нагрева коллекторно-щеточного узла МПТ. При этом устройство должно быть энергоэффективным и иметь возможность имитировать различные режимы загрузки

двигателей постоянного тока при неподвижном роторе. Так же в устройстве должен осуществляться анализ параметров диагностирования с помощью программных продуктов.

Для реализации вышеуказанного предлагается использовать способ диагностирования, структурная схема которого представлена на рисунке 1.

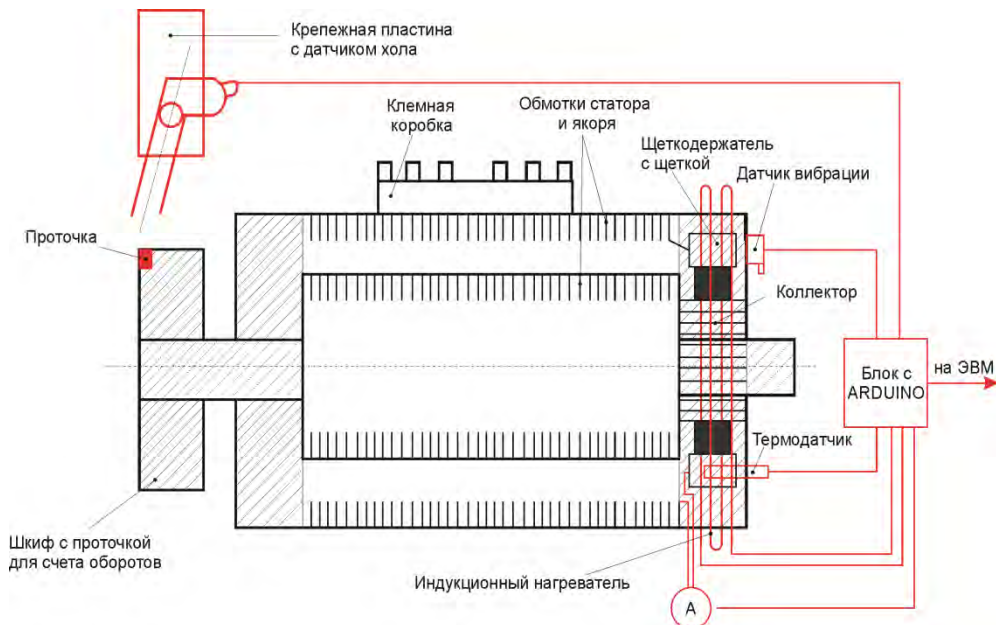


Рисунок 1 - Способ диагностирования МПТ

Способ предусматривает установку токового датчика, датчика вибрации, термодатчика и т.д, которые позволяют осуществлять «полную» диагностику эксплуатационных характеристик МПТ. При этом нагрев коллекторно-щеточного узла МПТ предлагается осуществлять катушкой индукционного нагревателя, которая создает высокочастотное магнитное поле, и в металлическом предмете в середине катушки возникают вихревые токи, которые будут его разогревать. Даже маленькие катушки повышают ток до 100 А, поэтому параллельно с катушкой, необходимо подключать резонансную емкость, которая компенсирует ее индукционный характер. Схема катушка-конденсатор должна работать на их резонансной частоте. При этом катушка индукционного нагревателя должна работать от 12 В, это позволит производить нагрев коллекторно-щеточного узла МПТ на различном оборудовании.

Для диагностирования МПТ было собрано устройство, осуществляющее функции указанные в способе (рисунок 1). Внешний вид разработанного технического устройства представлен на рисунке 2.

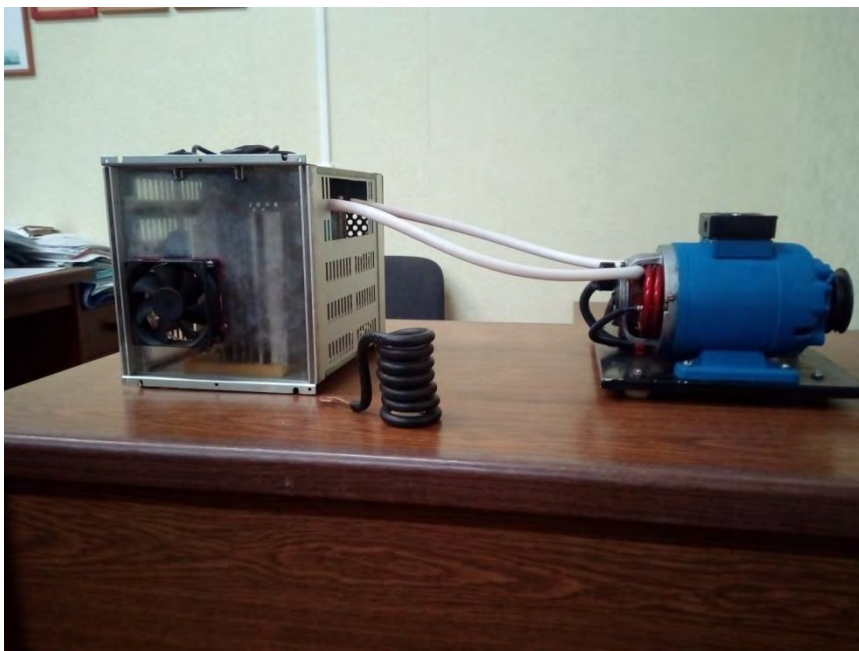


Рисунок 2 - Внешний вид устройства диагностирования МПТ

Разработанное устройство реализующий вышеуказанный способ и может использоваться для нагрева щеточно-коллекторного узла двигателя постоянного тока, что позволяет имитировать его работу в реальных условиях и оценивать влияние температуры коллектора на технические показатели и характеристики электропривода постоянного тока. При этом используя токовые датчики, датчик вибрации, термодатчик и т.д, которые позволяют осуществлять «полную» диагностику эксплуатационных характеристик МПТ.

Список использованной литературы

1. Каширских В.Г. Диагностика двигателей постоянного тока с помощью искусственной нейронной сети / В.Г. Каширских, А.Н. Гаргаев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 2 (102). С. 104-106.
2. Лукьянов С.И. Разработка и внедрение интеллектуальных систем диагностирования технического состояния электрического оборудования / С.И. Лукьянов, А.С. Карандаев, А.С. Сарваров и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2014 №1(45). С. 129-134.
3. Сарваров А.С. Анализ общих принципов построения системы диагностирования двигателей постоянного тока / А.С. Сарваров, А.Б. Коробейников // Электротехнические системы и комплексы: междунар. сб. науч. трудов. Вып. 20 / под ред. Сарварова А.С., Вечеркина М.В. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012 С. 395-402.

4. Авилов В.Д. Улучшение условий коммутации крупных машин постоянного тока с составными щетками / В.Д. Авилов, Е.Н. Савельева // В кн.: Тез.докладов науч.-техн. конф. кафедр Омского ин-та инж. Ж.-д. транспорта. - Омск, 1984, с.79-80.
5. Антипов В.Н. Анализатор коммутации АК-2 и исследование его возможностей для определения коммутационной способности машин постоянного тока / В.Н. Антипов, В.Н. Козлов, А.В. Сазонов и др. // Науч.тр. Омский ин-т инж. ж.-д. трансп. Омск, 1960, с.34-43.
6. Битюцкий И.Б., Компьютерное моделирование коммутационных процессов крупной машины постоянного тока / И.Б. Битюцкий, М.С. Калинин // Компьютерное моделирование 2003: Сборник трудов 4-й международной научно-технической конференции. - СПб.: СПбГПУ, 2003.-С. 90-92.

Виноградов А.В., Виноградова А.В., Сейфуллин А.Ю., Большев В.Е.

СПОСОБ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОТ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ К ИСТОЧНИКУ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
Москва

Аннотация. В статье рассмотрен способ переключения питания потребителя, в нормальном режиме получающего питание от ветроэлектростанции (ВЭС) на питание от источника централизованного электроснабжения, например, от трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ, при сокращении объёма выработки электроэнергии ВЭС.

Ключевые слова: электрические сети, источники электроснабжения, способ переключения, электроснабжение потребителей, микросети.

Введение. Активное развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) приводит к ситуации, когда для отдельных потребителей, или их групп основными источниками электроснабжения становятся ВИЭ, например, ВЭС. Это укладывается в концепцию, изложенную в «Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года» [1], согласно которой, наряду с другими мероприятиями в области развития инженерной инфраструктуры сельской местности предстоит обеспечить двойное питание в системах электроснабжения сельских потребителей и повысить надежность электроснабжения посредством установки независимых источников электроснабжения у жизненно важных потребителей. Различными учёными исследуются вопросы выбора генерирующих установок и их применения в структуре микросетей [2]. В то же время такая особенность ВИЭ, как зависимость от климатических факторов, приводит к неравномерности выработки электроэнергии ВИЭ. В частности, выработка электроэнергии ВЭС зависит от наличия ветра, его скорости [3]. Возникает ситуация, когда рациональным является осуществление переключения питания потребителя от ВЭС к источнику централизованного электроснабжения. Это может осуществляться различными способами. Так, в [4] был разработан способ подключения потребителей к резервному источнику электроснабжения, причём в качестве основного источника электроснабжения выступала биогазовая энергетическая установка (БЭУ). Целью настоящей работы является модернизация данно-

го способа для применения в случае использования в качестве основного источника ВЭС.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 показана структурная схема реализации предлагаемого способа подключения потребителей от ветроэлектростанции к источнику централизованного электроснабжения

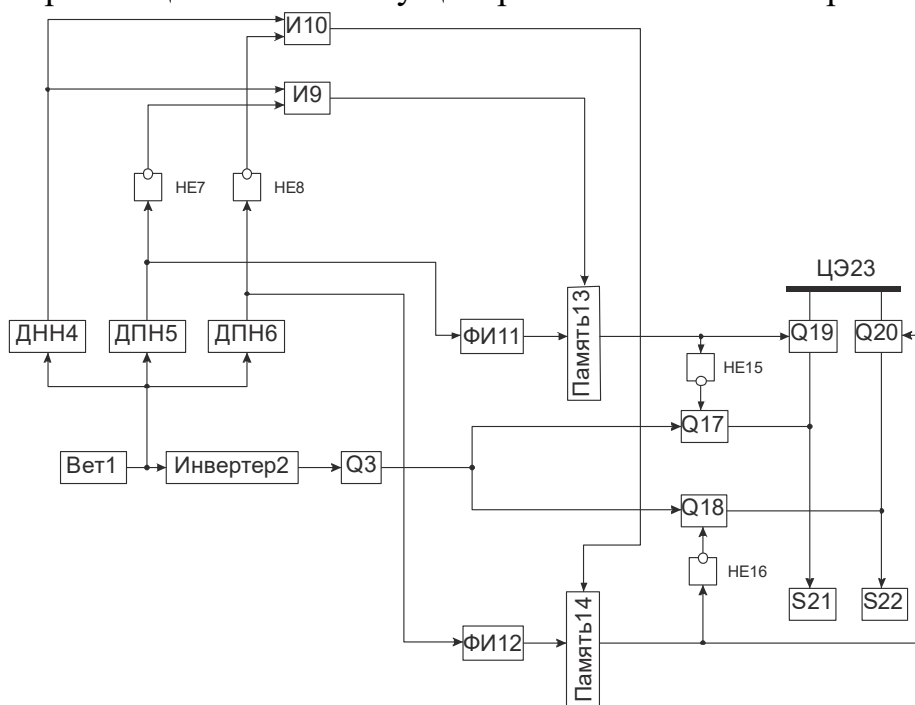


Рисунок 1 - Структурная схема реализации способа подключения потребителей от ветроэлектростанции к источнику централизованного электроснабжения

Структурная схема, показанная на рисунке 1, включает в себя ВЭС(Вет1), инвертер (Инвертер2), выключатели(Q3, Q17, Q18, Q19, Q20) датчик номинального напряжения (ДНН4), датчики пониженного напряжения (ДПН5, ДПН 6), логические элементы (НЕ7, НЕ8, И9, И10, НЕ15, НЕ16), формирователи импульса (ФИ11, ФИ12), элементы Память13, Память14, потребителей(S21, S22), систему централизованного электроснабжения(ЦЭ23).

Работа схемы основана на анализе параметров режимов работы электрической сети и осуществлении переключений в случае определённого значения данных параметров. В нормальном режиме работы схемы выработка электроэнергии Вет1 достаточна для питания потребителей S21, S22. Логические элементы ДНН4, И9, И10, ДПН5, ДПН6, НЕ7 и НЕ8 формируют логическую цепь, которая фиксирует значение напряжения выдаваемого Вет1, близкое к номинальному. В результате их работы на элементах Память13, Память14 присутствует сигнал сброса. Соответственно отсутствуют сигналы на выключателях Q19 и Q20, при этом они

выключены, на элементах HE15 и HE16 сигналы инвертируются и подаются на выключатели Q17 и Q18, данные выключатели при этом включены. Потребители получают питание от ветроэлектростанции Вет1.

Схема предполагает двухуровневый контроль снижения напряжения, выдаваемого Вет1, позволяющий определять необходимость перевода одного (первый уровень), или обоих (второй уровень) потребителей S21, S22 от Вет1 к ЦЭ23. Первый уровень контролируется с помощью ДПН5, а второй – с помощью ДПН6. Так, при снижении выработки электроэнергии ветроэлектростанции Вет1 срабатывает датчик ДПН5, с выхода которого подается сигнал, обрабатываемый логической цепочкой элементов ФИ11, Память13, HE7, И9, HE15, в результате чего выключатель Q17 отключается, а выключатель Q19 включается. В результате потребитель S21 переводится на питание от ЦЭ23.

При дальнейшем снижении выработки электроэнергии ветроэлектростанции Вет1 или полном ее прекращении срабатывает датчик ДПН6, с выхода которого подается сигнал на цепь логических элементов ФИ12, Память14, HE8, И10, HE16. В результате работы логической цепи выключатель Q18 отключается, а выключатель Q20 включается. Потребитель S22 переводится на питание от ЦЭ23.

При восстановлении необходимого уровня выработки электроэнергии Вет1 схема работает таким образом, что потребители S21 и S22 получают питание от Вет1. Подробно работа схемы рассмотрена в [5]. Данный способ может осуществляться и в микросетях, построенных на базе мультиточечных коммутационных систем (МКС) [6]. В этом случае в роли выключателей Q17-Q20 могут выступать контактные группы МКС, например, МКСМ-4 [7].

Заключение. Предлагаемый способ переключения питания потребителей от основного к резервному источнику электроснабжения может применяться в сельских микросетях, содержащих ВИЭ, в том числе ВЭС.

Список использованной литературы

1. Стратегия устойчивого развития сельских территорий российской федерации на период до 2030 года» (утверждено распоряжением правительства РФ № 151-р от 02.02.2015 г.). URL: <http://government.ru/docs/16757/>(дата обращения 10.11.2020).
2. В.В. Харченко, В.А. Гусаров. Положения и принципы формирования генерирующего комплекса микросетей на основе ВИЭ. // Вестник аграрной науки дон. № 32. 2015. С. 71–83.
3. Попель О.С., Фортон В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире: учебное пособие. Москва: Издательский дом МЭИ, 2015, 450 с.

4. Патент № 2330367 МПК51 Н 02 J 7/35 (2006.01) Способ подключения потребителей к резервному источнику электроснабжения /Виноградов А.В., Гааб А.Я. // заявитель и патентообладатель Орловс. гос. агр-й ун-т. заявл. 25.06.2007; опубл. 27.07.2008 Бюл. №21. – 7 с.: ил.
5. Патент №2733203 Российская Федерация, МПК H02J 3/00, H02J9/06, H02J13/00 СПК H02J 3/00. Способ подключения потребителей к резервному источнику электроснабжения. / Виноградов А.В., Виноградова А.В., Сейфуллин А.Ю., Большев В.Е.// Заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – Заявка 2020102165, заявлено 21.01.2020; опубл. 30.09.2020 Бюл.№28.
6. Виноградов А. В. Типы мультиконтактных коммутационных систем. // Агротехника и энергообеспечение. 2019. №2 (23). - С. 12-26.
7. Виноградов А.В. Использование мультиконтактных коммутационных систем с мостовой схемой в микросетях для регулирования нагрузки возобновляемых источников энергии / А.В. Виноградов, А.В. Виноградова, А.Ю. Сейфуллин, А.А. Лансберг, И.А. Седых//Агротехника и энергообеспечение. 2020. №1(26). С.39-51.

Зайченко В. М., Сычев Г. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНЫХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДЛЯ МЕСТНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук (ОИВТ РАН)*

Развитие методов энергетического самообеспечения является приоритетным направлением развития энергетики в настоящее время. Для нашей страны это имеет особое значение. Примерно 70% территории Российской Федерации, на которой проживает около 20 млн. человек, находятся вне централизованных систем энергоснабжения. Для многих регионов страны мощности существующих централизованных энергосистем недостаточно.

При этом в существующих экономических условиях распределённое энергоснабжение оказывается с экономической точки зрения более выгодным по отношению к централизованной энергетике.

Получение энергии без привозных органических топлив подразумевает использование местных топливно-энергетических ресурсов, таких, как торф, древесные, сельскохозяйственные, бытовые отходы и отходы жизнедеятельности различных видов. Энергетическая утилизация отходов различных видов, которые также являются местными топливно-энергетическими ресурсами, позволит снизить отрицательное влияние на природное равновесие от накопленного экологического ущерба.

На базе ОИВТ РАН были созданы и апробированы различные подходы использования местных топливно-энергетических ресурсов (конверсия биомассы в газовое топливо, торрефикация с целью повышения потребительских характеристик гранулированного топлива, получение чистых углеродных материалов при совместной термической переработке биомассы и углеводородных газов), которые могли бы решить ряд проблем, связанных с децентрализованным электро- и теплоснабжением регионов. Для промышленного внедрения необходимым является проведение испытаний, включающих в себя отработку режимных параметров, принимающих во внимание специфику переработки конкретного типа сырья.

Илиес Шауки, Калинин В.Ф.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАРЯДКИ СВИНЦОВО-КИСЛОТНОГО АККУМУЛЯТОРА ОТ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ БАТАРЕИ.

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

Аннотация. Для повседневного использования электромобилей необходимо создать инфраструктуру, основной базовой частью которой являются электростанции. Актуальной является задача создания зарядных станций на альтернативных возобновляемых источниках энергии, где накопителями энергии являются аккумуляторные батареи. Для прогнозирования срока службы аккумуляторной батареи, оценки её параметров состояния во время зарядки необходимо математическое моделирование. В докладе обсуждаются вопросы моделирования таких систем.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, аккумулятор, свинцово-кислотная батарея, моделирование, электростанция.

В последнее время наблюдается значительный рост внедрения технологий использования возобновляемых источников энергии, причем этот сектор энергетики занимает лидирующие позиции благодаря резкому сокращению затрат на солнечные фотоэлектрические и ветровые установки автономной энергетики.

Технология накопления энергии важная вещь для широкого использования возобновляемых источников энергии.



**Рисунок 1. Автономная фотоэлектрическая
электростанция**

В фотоэлектрической станции проводится хранение энергии, произведенной солнечными батареями в ожидании дальнейшего использования.

Состояние заряда, часто упрощенное аббревиатурой SOC (состояние заряда), является очень важной характеристикой, которую необходимо знать, поскольку она говорит нам в процентах об уровне заряда батареи. Возможность оценки состояние заряда помогает избежать глубоких разрядов или чрезмерных зарядов, которые могут повредить батареи аккумулятора. Это наблюдение направлено на то, чтобы предотвратить деградацию батареи, чтобы максимально продлить срок ее службы. Состояние заряда можно определить по доступной емкости, выраженной как функция от номинальной емкости.

Аккумуляторные батареи, необходимые для электромобилей, а также для гибридных автомобилей, претерпевают непрерывную технологическую эволюцию, и прогресс важен; но в настоящее время ни одно решение не является полностью удовлетворительным, и каждый тип аккумулятора электроэнергии часто предназначен для определенного типа использования.



Рисунок 2. Параметры для выбора типа используемой батареи.

Важной задачей исследования в этой области является разработка программы моделирования автономной фотоэлектрической установки, используемой для подзарядки аккумулятора. Система состоит из фотоэлектрической панели, Конвертер Повышение и батареи. Целью данной главы является моделирование фотоэлектрической системы, показанной на рисунке (3).

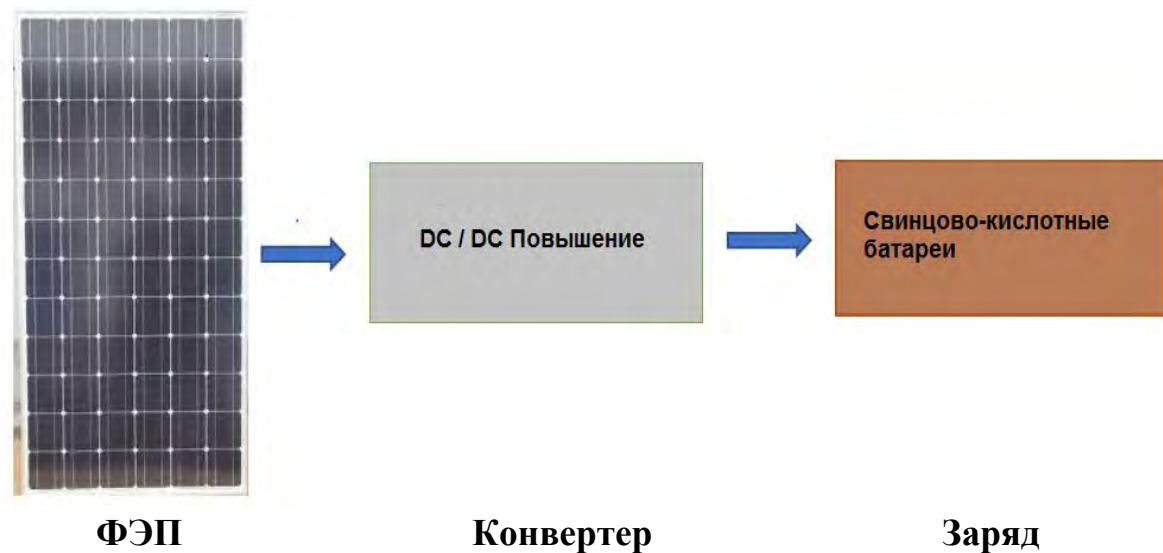


Рисунок 3 Фотоэлектрическая система.

Аккумуляторная батарея играет важную роль в нашей системе: она начинает действовать, когда мощность фотоэлектрической панели ниже, чем мощность нагрузки (батарея разряжена), в противном случае батарея заряжается.

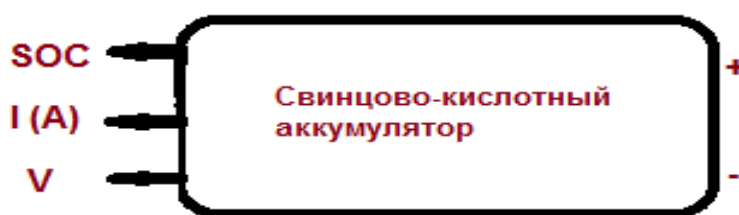


Рисунок 4. Блок-схема свинцово-кислотных аккумуляторов.

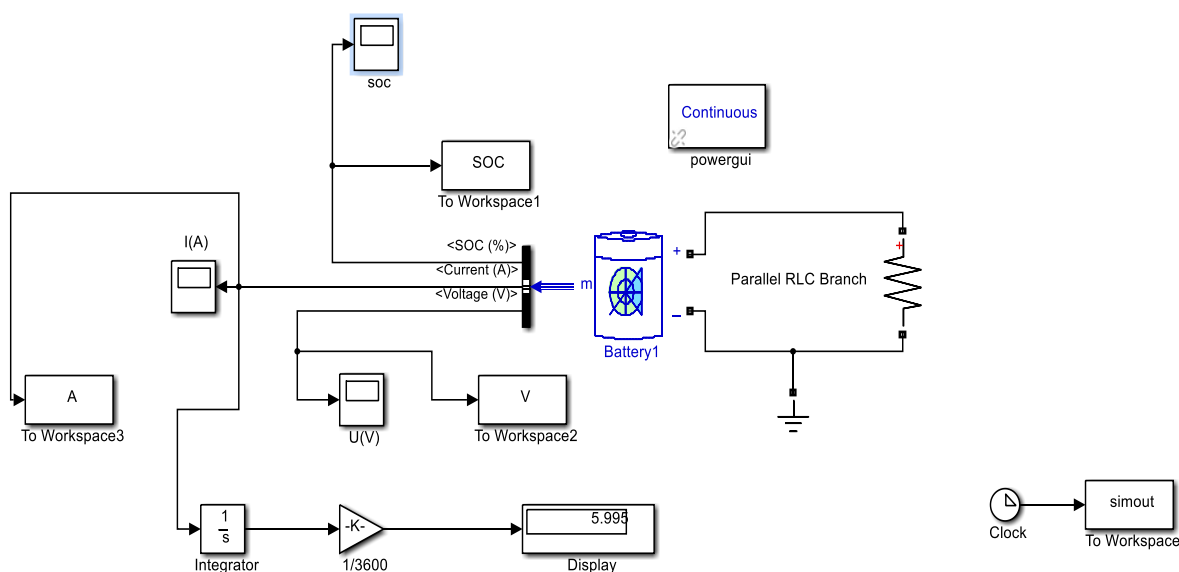
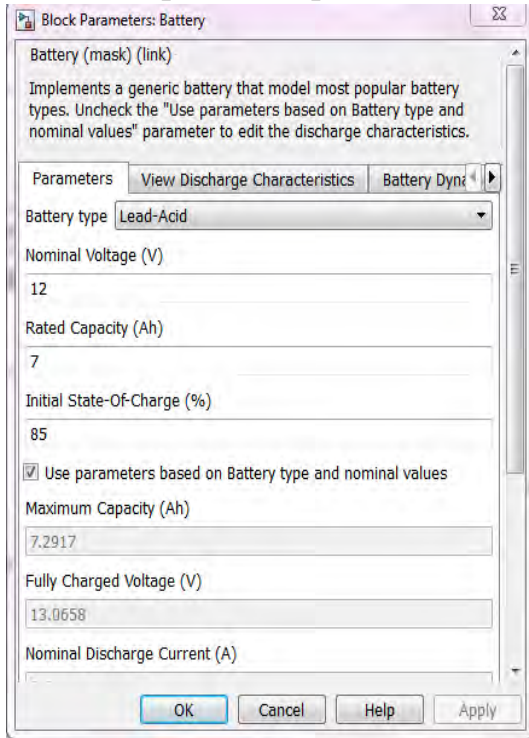


Рисунок 4.1. Моделирование (симуляция) модели батареи.

Основные характеристики аккумулятора:

- Номинальное напряжение 12 В.
- Номинальная емкость (Ач) 7 Ач.
- Начальная зарядка 85 (%).

Блок настроек батареи :



Результаты моделирования батареи:

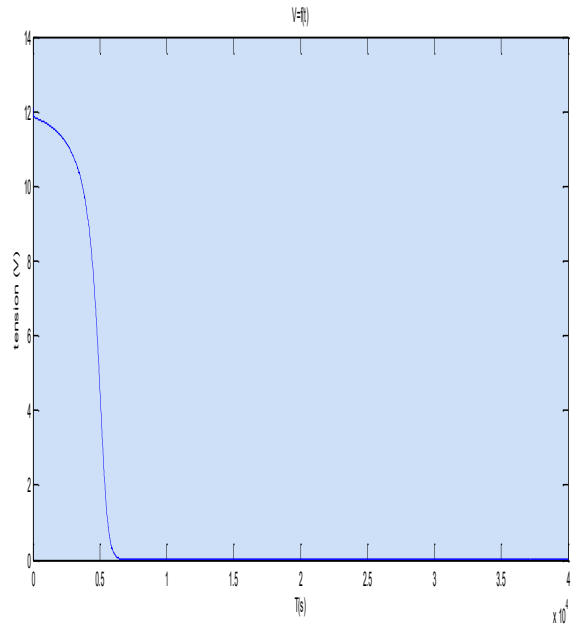


Рисунок 4.2. кривая: $V = f(t)$ заряда аккумулятора.

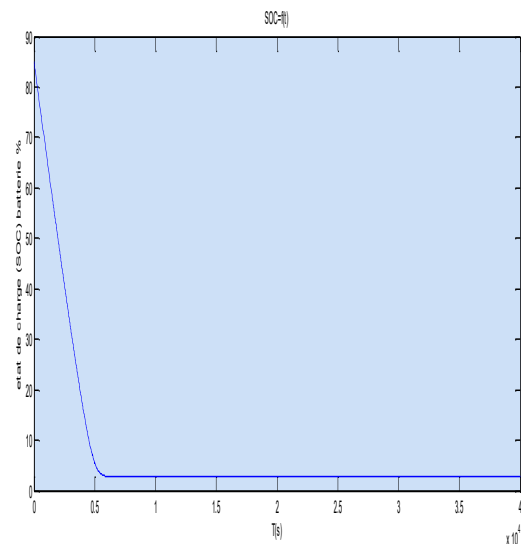
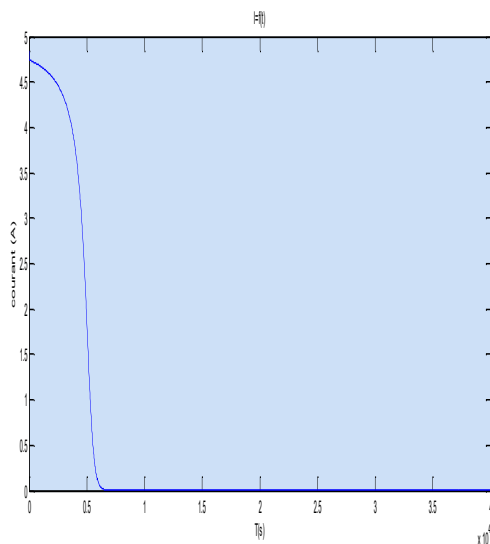


Рисунок 4.3. кривая: $I = f(t)$ батареи и $SOC = f(t)$ батареи.

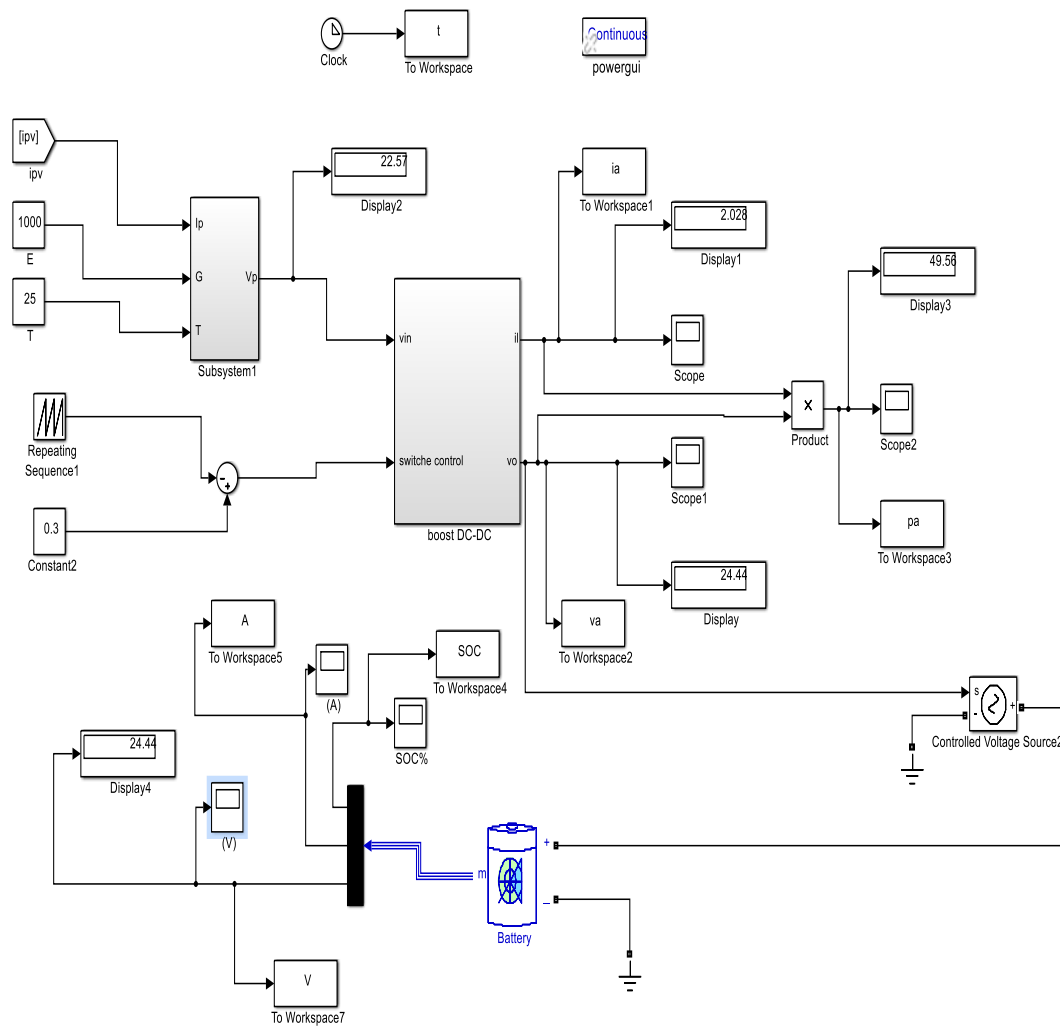


Рисунок 4.4. Моделирование (симуляция) системы

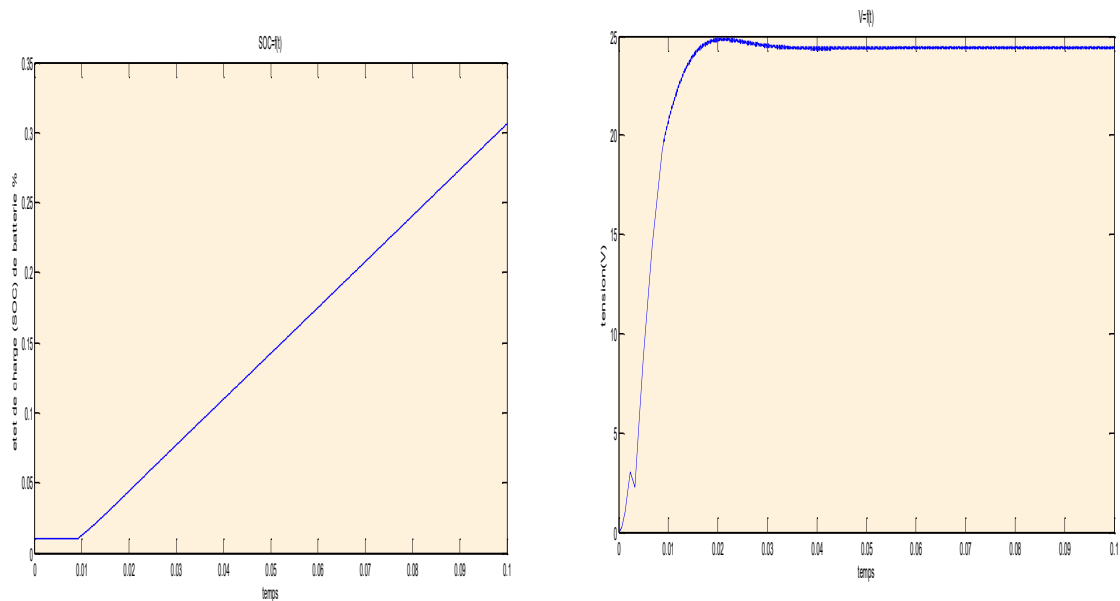


Рисунок 4.5. Состояние кривой заряда как функция времени $SOC = f(t)$ и напряжения заряда аккумулятора: $V = f(t)$.

Проведённое моделирование с использованием пакета программных продуктов (Matlab R2018a) фотоэлектрической системы со свинцово-кислотным аккумулятором подтвердили возможность осуществлять комплексное проектирование с помощью новых информационных технологий автономных систем альтернативной энергетики.

Список использованной литературы:

1. Mohammed Salah, A., Yahia, D., Optimisation de la production d'un générateur photovoltaïque, Université kasdi merbah ouargla. –2015–P.11.
2. Benamara, V., Etude et simulation d'un panneau solaire raccordé au réseau avec périphérique de stockage, Université du Québec. –2012–P.27
3. https://fr.wikipedia.org/wiki/batterie_d%27accumulateurs.

Климентьев В.В., Лыков Н.А., Зацепин Е.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ НА ЛИНЕЙКЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ATMEGA В РАМКАХ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ARDUINO IDE

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)

***Аннотация:** в данной статье рассмотрены возможности создания и использования устройств релейной защиты и автоматики, созданных на базе интегрированной среды разработки Arduino IDE. Исследованы особенности применения и эффективность созданных систем, а также оценена возможность практической реализации с целью использования на реальных объектах электроснабжения.*

***Ключевые слова:** системы релейной защиты и автоматики, управление, автоматизация, цифровизация.*

Использование релейной защиты в качестве средства предотвращения аварийных ситуаций на объектах электроснабжения начинает изживать себя. Век цифровизации позволяет заменить сложные схемы защит на более компактную систему микропроцессорной защиты. Однако, стоимость таких систем не всегда позволяет добиться замены старого оборудования. Решением данных проблем может оказаться использование микроконтроллерных программируемых схем.

Проведен анализ стоимости и эффективности предлагаемых систем в сравнении имеющимися микропроцессорными системами, а также предложены варианты создания более дешёвой, по сравнению с имеющимися на рынке аналогами, системы. Созданы системы максимальной токовой защиты и токовой отсечки.

За основу была взята система защиты токовой отсечки и максимальной токовой защиты, соединенная в неполную звезду. Все промежуточные реле заменены микроконтроллером, что позволяет снизить стоимость системы защиты. В дальнейшем при модернизации планируется добавить системы газовой защиты I и II ступеней, индикацию для оповещения персонала, систему автоматического повторного включения, автоматического включения резервов. Написание кода для микроконтроллера находится в стадии разработки.

В процессе исследования были выявлены следующие недостатки системы:

1. Из-за использования реле, рассчитанных на оперативное напряжение управления 110В, может произойти большое падение напряжения на переходном сопротивлении, и сигнал не попадает в микроконтроллерное устройство. Решение проблемы возможно при использовании транзисторов типа Mosfet для подачи сигнала на него, а затем используя номинальный ток микроконтроллера для подачи сигнала.

2. Полностью отказаться от реле не представляется возможным, так как управление выключателем должно осуществляться при помощи электромагнита отключения.

3. В связи с тем, что микроконтроллерные системы типа Arduino IDE не направлены на работу в системах электроснабжения, невозможно говорить о полной надежности данной системы. Однако, при конструировании должных узконаправленных микроконтроллеров проблема решается в полной мере.

Предложенная система позволяет осуществлять функции релейной защиты и автоматики является более гибкой и расширяемой из-за возможности использования программного кода для настройки систем по сравнению с аналоговыми системами.

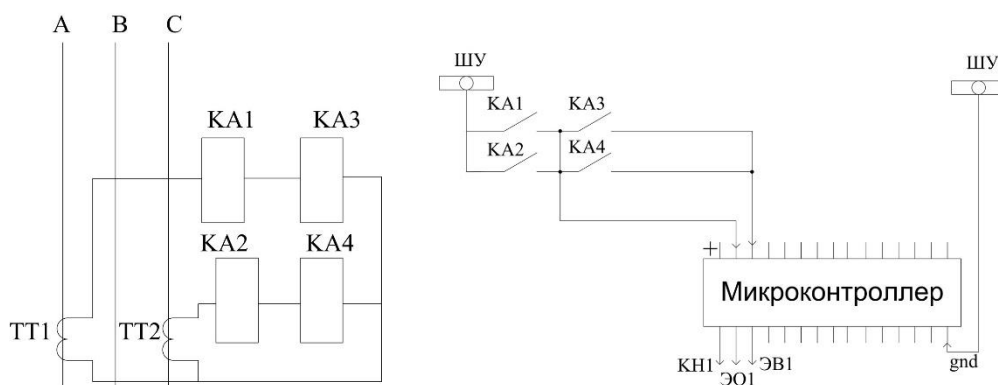


Рисунок 1 – Принципиальные схемы предлагаемой системы релейной защиты.

Исследование выполнено частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 17-48-480083 p_a

Список использованных источников:

1. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / М.А. Мельников – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218с.
2. Дж. Блум Изучаем Arduino: пер. с англ – СПб: БХВ-Петербург, 2015 – 336с.
3. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения: учебник для вузов / В.А. Андреев – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. Шк., 2006. – 639 с.

Колесникова Е.С.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

***Аннотация:** Статья посвящена исследованию теоретических и практических возможностей применения сетей Петри для моделирования технологических процессов, протекающих в энергетических производственных системах.*

***Ключевые слова:** имитационное моделирование, сети Петри, водогрейная котельная.*

Проектирование и управление многими производственными системами (ПС) – сложная структурная задача, для решения которой необходимо использовать как математические методы, так и компьютерные технологии.

Актуальность данной проблемы заключается в сложном техническом процессе управления энергетическими ПС, так как объекты, не связанные территориально, входят в единую систему управления – информационную экосистему (ИЭ). ИЭ представляет из себя взаимозависимую группу предприятий и объектов, которые совместно используют энергетические, материальные и информационные потоки для взаимовыгодных целей.

Функционирование общей системы управления энергетическими объектами осуществляется в дискретные моменты времени, в зависимости от происходящего сценария алгоритма работы ПС, что классифицирует их как дискретные динамические системы (ДДС). Алгоритм работы ДДС относительно прост: динамика системы определяется наступлением дискретных событий, меняющих ее состояние. Но при избыточном количестве данных существует риск перегрузки системы, связанный с количеством обрабатываемой информации. [1].

Исходя из выше сказанного, предлагается использовать информационное моделирование при проектировании энергетических ПС. Использование формализованных моделей на начальных этапах проектирования ПС, позволит создать дополнительную систему контроля для повышения безопасности строительства и эксплуатации объекта, что в свою очередь приведет к очевидной экономической эффективности. Для энер-

гетических ПС характерно управление через ЭВМ, реализуемое человеком-оператором, поэтому при моделировании, проектировании, создании и эксплуатации объекта необходимо использовать возможность понимания структуры работы системы конечным пользователем.

Системы моделирования процессов, основанные на применении сетей Петри (СП) имеют ряд преимуществ: описание поведения системы на событийном уровне, высокий уровень описания статики и динамики функционирования системы, компактность формулировки (средствами векторной алгебры), понятный интерфейс. Структуру СП можно записать в виде:

$$C = (P, T, I, O),$$

где $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ – множество ситуаций или позиций ($|P| = n$);

$T = (t_1, t_2, \dots, t_m)$ – множество переходов ($|T| = m$);

I – входная функция для перехода $I = I(t_j), j = 1, \dots, n$;

O – выходная функция $O = O(t_j), j = 1, \dots, m$. [2].

В содержательном плане переходы соответствуют событиям, присущим исследуемой системе, а позиции – условиям их возникновения. Переход (событие) характеризуется определенным числом входных и выходных позиций, соответствующих предусловию и постусловию данного события. Совокупность переходов, позиций и дуг позволяет описать статическую систему, пример такого описания показан на рис. 1. Для описания динамики вводится еще один объект – маркер (*token*), или метка позиции, которая соответствует выполнению того или иного условия (обозначается точкой внутри позиции). Текущее состояние исследуемой системы определяется распределением маркеров по позициям сети, а динамика поведения системы отображается перемещением маркеров по позициям сети (рис. 2).

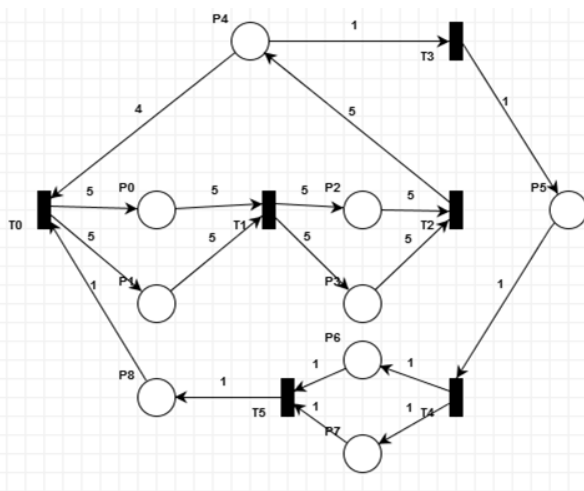


Рисунок 1 – Статическая модель технологической схемы водогрейной котельной

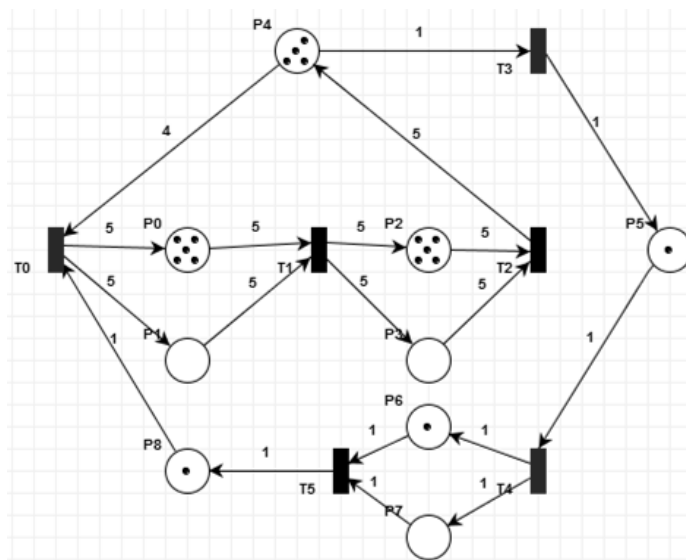


Рисунок 2 – Динамическая модель технологической схемы водогрейной котельной

Рассмотрим практический пример моделирования типовой энергетической ПС (водогрейной котельной) с применением сетей Петри. При разработке модели применялась программа *PIPE2*, использующая поддержку библиотек *JavaScript*.

Рассматриваемый технологический процесс описывает работу водогрейной котельной, предназначенной для теплоснабжения потребителей. Котельная имеет зависимую схему подключения. Процесс моделируется методом последовательного срабатывания цепочки переходов T_0 - T_5 . Маркировка позиций P_0 - P_8 определяет правильную последовательность срабатываний данных переходов и показывает состояние конкретного оборудования из цепочки. Кратность дуг позиций соответствует пропускной способности трубопроводов системы.

Технологическое оборудование котельной включает следующие элементы, показанные на рис. 1: котлы (P_2 , P_3), сетевые насосы (P_0 , P_1), подпиточные насосы (P_6 , P_7), которые работают со 100% резервированием, следовательно, при аварии рабочего оборудования тут же включается резервное. В качестве химической водоподготовки котельной используется комплекс дозирования (P_8), установленный после подпиточных насосов.

Работа котельной происходит по следующему алгоритму: вода с температурой 65°C поступает от потребителей P_4 в общий коллектор обратной сетевой воды T_0 . Далее по сетевому насосу P_0 (P_0 – рабочий, P_1 – резервный) вода поступает в трубопровод T_1 , а после в котел P_2 (P_2 – рабочий, P_3 – резервный) где нагревается до 90°C . Далее горячая вода через коллектор T_2 поступают к потребителю P_4 , затем цикл повторяется. При этом не стоит забывать о потерях. Предположим, что максимальное количество потерь сетевой воды происходит в теплотрассе, идущей к потребителю, и скапли-

вается в трубопроводе канализации T_3 , откуда попадает в очистные сооружения P_5 . Позже очищенная вода подается в трубопровод подпиточной воды T_4 , откуда с помощью подпиточного насоса P_6 (P_6 – рабочий, P_7 – резервный) поступает в установку химической водоподготовки P_8 , а после в коллектор обратной сетевой воды T_0 . Таким образом, цикл замыкается.

Модели, разработанные на основе сетей Петри, позволяют проводить имитационное моделирование функционирования сложных систем, а также по результатам моделирования возможно выявление различных ошибок на этапе проектирования ПС.

Список используемых источников

1. Марченко, Г.Н. Использование сетей Петри в проектировании и управлении технологическими процессами водоподготовки тепловых электрических станций / Г.Н. Марченко, И.Р. Басыров, К.И. Давлетгараев, И.Г. Ахметова // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2003. – №11-12. – С. 166-171.
2. Берман, А.Ф. Моделирование функционирования сложных технологических комплексов на основе модифицированной сети Петри / А.Ф. Берман, П.Ю. Вильвер, О.А. Николайчук // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2009. – №4. С. 23-29.

Кудрявцев А.Е., Зацепина В.И.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ВОДОРОДНЫМ АККУМУЛИРОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк),

Аннотация: В работе предложены мероприятия по совершенствованию систем учета электроэнергии

Ключевые слова: энергоэффективность, водородное аккумулирование энергии.

Добиться снижения потерь электроэнергии можно тремя классами мероприятий: организационными, техническими и мероприятиями по совершенствованию системы учета электроэнергии. Так, первый класс – это качественное управление режимом функционирования электрической сети, второй класс – задачи реконструкции и модернизации, третий – совершенствование автоматизированных информационно-измерительных систем.

Оптимизация реактивных мощностей генераторов электростанций и включенных в работу устройств компенсации реактивной мощности улучшает режим работы электрической сети. Для снижения потерь целесообразно отключать один из двух параллельно работающих трансформаторов, так как потери холостого хода превышают нагрузочные[1].

Внедрением гарантированного комплекса энергоснабжения на базе использования возобновляемого источника энергии можно увеличить эффективность системы децентрализованного энергоснабжения. В данной работе рассматривается гибридный энергетический комплекс, особенностью которого является водородное аккумулирование энергии. Используя высокое время автономности водородного цикла можно добиться высоких результатов аккумулирования энергии. На рисунке 1 изображена схема, которая предлагается в качестве ГЭК. Она представляет совокупность энергетических установок, функционирующих на базе возобновляемых источников энергии. Состав включает: фотоэлектрическую установку, ветроэнергетическую установку, гидроэнергетическую установку, теплонасосную энергетическую установку, электродом, солнечную систему теплоснабжения, водородный накопитель электрической энергии, тепло-

вой аккумулятор. Поток энергии осуществляется между потребителями электрической и тепловой энергии[2].

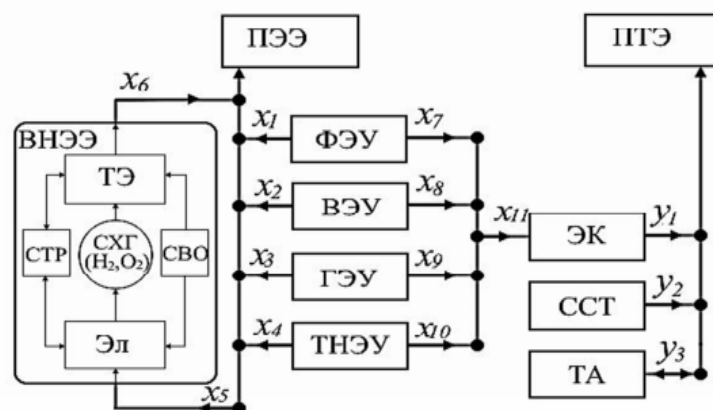


Рисунок 1 – Структурная схема гибридного энергокомплекса:
 x_1 - x_{11} – потоки электрической энергии; y_1 - y_3 – потоки тепловой энергии

Водородная технология способна обеспечить долговременное хранение энергии без потерь. Водород и электроэнергия конвертируются друг в друга с высоким значением КПД, обеспечивая малое количество вредных выбросов, запаха. У данных систем высокая надежность и безопасность, а также более высокая энергоемкость. Водородная система аккумулирования повышает маневренность энергоблока[3].

Исследование выполнено частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 17-48-480083 p_a

Список используемой литературы

1. Чернышев А.С., Мордвинов С.Е. Исследование и оптимизация расходов предприятия на потери в силовых трансформаторах // Юность и знания – гарантия успеха. – 2019. – С.142
2. Швердиев Р. П. Гибридный энергокомплекс гарантированного энергоснабжения с водородным аккумулированием энергии // Энергетика. Технологии будущего. – 2019. – С. 18-19.
3. Мальшенко С.П. Анализ системы водородного аккумулирования электроэнергии в сравнении с другими системами аккумулирования // Теплофизика высоких температур. – 2015. – Т. 53, № 4. – С. 538.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)

Аннотация: в работе рассматривается альтернативный алгоритм работы, позволяющий в автономном режиме управлять релейной защитой и автоматикой определенного энергетического объекта в виду одноразовости новых блоков релейной защиты и автоматики.

Ключевые слова: надежность, управление, автоматизация, цифровизация.

Введение

Совсем недавно появилось и начало внедряться микропроцессорное оборудование. Новый вид микропроцессорной защиты, основанной на компьютерных технологиях, имеет как ряд преимуществ, так и недостатков относительно защит прошлого поколения.

Главным недостатком защит последнего поколения является их одноразовость и необходимость ее замены после срабатывания. Для решения данной проблемы было предложено изменить схему РЗА на представленную на рис. 1.

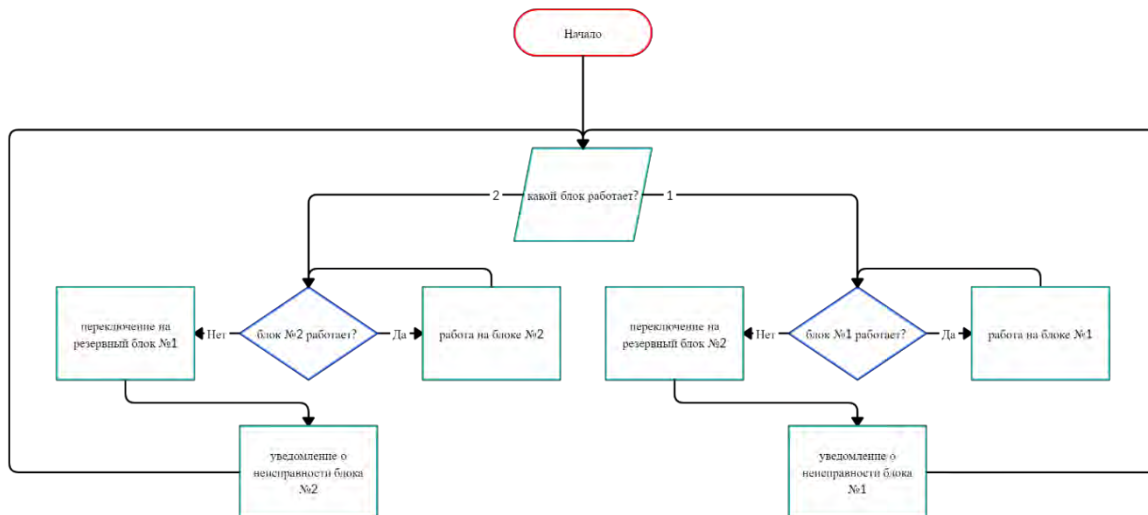


Рис. 1. Новая предлагаемая схема для РЗА

Данная схема позволяет осуществлять полную защиту оборудования, так как после срабатывания одного блока и выхода его из строя, РЗиА в автономном режиме переходит на резервный блок.

Роль обслуживающего персонала в данном случае очень мала, от него требуется только замены блока на новый и система начнет работа в доаварийном режиме.

Поставленная цель достигается за счет внедрения программного обеспечения (ПО). В данном случае, для упрощения визуализации и понижения вероятности кражи данных, система была создана на базе приложения telegram с созданием удаленного сервера для сбора и обработки данных.

Созданная система может быть найдена в приложении telegram по поиску @systemsecurityrobot. Для начала работы системы на вашем устройстве необходимо вбить индикаторный код личности. Если код принят, система разрешит доступ к управлению РЗиА находящейся в ее ведении.

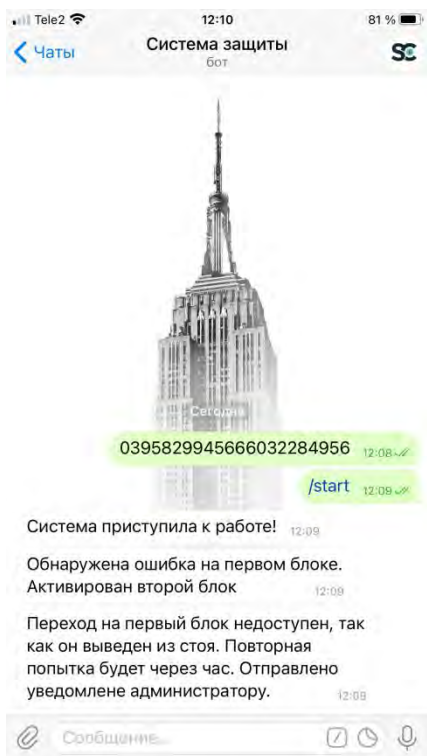
Для работы программы на сервере прописывается необходимая информация о новом добавляемом объекте защиты, система анализирует состояние оборудования и приступает к работе.

В ходе работы программа собирает данные о работе и состоянии оборудования, производит оценочный расчет возможного выхода оборудования из строя при помощи теории случайных импульсных потоков, а также производит рассылку уведомлений на указанные аккаунты и номера в случае сбоев или выхода оборудования из строя, перехода на резервное или о других возможных проблемах в системе. Пример работы представлен на рис. 2а и 2б.

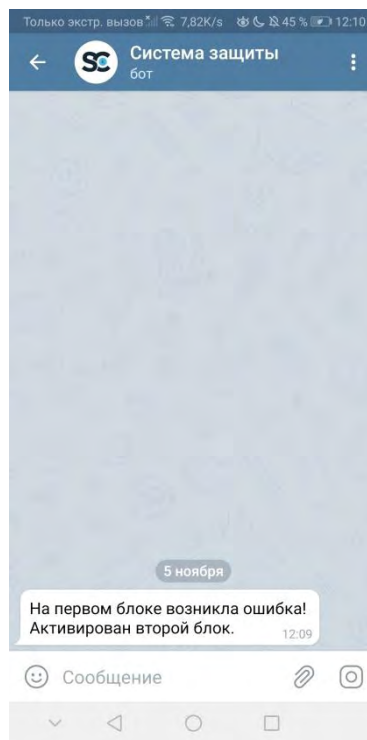
Как видно из скриншотов, в момент обнаружения ошибки приходит полное уведомление на главный аккаунт и короткое конкретное уведомление на второй номер о конкретной исправности и принятых системой действиях.

Заключение

Данный алгоритм и программа позволят автоматизировать системы РЗиА на небольших энергетических объектах. Однако, программа находится в процессе доработки из-за кратковременных сбоев и задержек в обработке данных.



а)



б)

Рис. 2. Пример обнаружения неисправности на блоке РЗиА

Исследование выполнено частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 17-48-480083 p_a

Список используемых источников

1. Сафонов, В.И. Надежность систем электроснабжения: учебное пособие. / В.И. Сафонов, П.В. Лонзингер. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 90 с.
2. Кустов, А.Н. Программный комплекс AUSRÜSTUNGSDIAGNOSE POWIFI для автономной диагностики состояния уличного освещения / А.Н. Кустов, В.И. Зацепина // Энергетика будущего – цифровая трансформация. Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции. 26 февраля. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2020. – 123 с.

Моторина Н.П.

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКУ

*Старооскольский технологический институт им.А.А. Угарова (филиал)
НИТУ «МИСиС», Россия, Старый Оскол*

Во всем мире растет потребление электроэнергии, что требует роста числа систем энергетики. Обеспечение надёжного и качественного электроснабжения потребителей – одна из важнейших задач электроэнергетики. Основой надёжного функционирования электроэнергетической системы является её качественное проектирование.

При снабжении энергией потребителей должны быть предусмотрены: высокий уровень проектно-конструкторских разработок, внедрение современного надёжного и энергоэффективного электрооборудования, снижение непроизводительных потерь энергии при её передаче, распределении, преобразовании и потреблении.

Понятие «качество электроснабжения» появилось сравнительно недавно и подразумевает интегральную характеристику, включающую показатели надёжности электроснабжения, качества электроэнергии и энергоэффективности. В настоящее время методики анализа качества электроснабжения не стандартизованы, и крупные потребители сами выбирают контролируемые параметры (и уровень качества электроснабжения), которые не должны противоречить требованиям нормативно-техническим документам. Определение качества товаров и услуг не должно осуществляться только наборами показателей, определённых нормативными документами, но и оценкой самого потребителя. Субъективное восприятие формируется на собственном опыте о необходимом качестве услуг и товаров. Однако, в энергетике качество оказываемых услуг оставляет желать лучшего.

При проектировании в основном принято использовать модели электрических сетей, построенные на классических выражениях теории электрических цепей. Для расчётов используют разнообразные программные продукты (рис. 1). Составляемые модели, представленные в виде уравнений теории электрических цепей для различных режимов работы, не в полной мере могут учесть многообразие воздействующих факторов, оказывающих влияние на функционирование электроэнергетических систем. В большинстве рекомендуемых методик расчета параметров элект-

трических сетей решающим фактором принятия решений является минимум затрат (как и минимальные потери, наивысшее качество электроэнергии и надёжность электроснабжения).

O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_п	ID...	Название	R	X	B	Кт/ф	N_внц	БД...	P_нач	Q_нач	Na	I_max
1		ЛЭП	1	2			-	6,972	11,956	74,480				-21,00	-10,94		124
2		ЛЭП	2	4			-	3,762	7,980	51,300				1,32	1,48		13
3		ЛЭП	3	4			-	3,237	5,551	34,580				-10,36	-7,56		68
4		ЛЭП	1	3			-	2,178	4,620	29,700				-39,70	-19,65		233

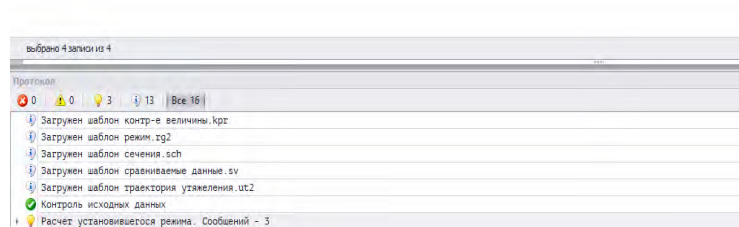


Рис. 1. Фрагмент расчёта установившегося режима сложной электрической сети

В оптимальном управлении электрическими сетями необходимо учитывать не только параметры электрических режимов, но и другие факторы, влияющие на надёжность электроснабжения объектов. Так в [1] рекомендуют учитывать случайные и постепенные отказы электроэнергетического оборудования на основе прогностической стратегии технического обслуживания, метеорологическое и климатическое влияние. В результате создания таких моделей можно получить адаптивные системы управления в электроэнергетике, оптимально реагирующие на действия внешних и внутренних воздействий вплоть до социального, политического, экологического планов. Сетевая компания «Россети» в рамках выполнения распоряжения правительства «Цифровая экономика Российской Федерации» планирует в своей деятельности внедрение интеллектуальных систем управления на базе цифровых технологий.

Увеличение показателей надёжности электроснабжения достигается при совместном применении всевозможных мероприятий и средств. Рациональное их применение и сочетание формируют определёнными критериями. Разрабатываются программы повышения надёжности систем энергетики, состоящие из рекомендаций комплексных мер оптимизации для разнообразных ситуаций. В разработанной Концепции определены

основные направления технологических и организационных изменений работы сетевой компании для «...повышения надёжности, качества, доступности оказания услуг по передаче электроэнергии и технологическому присоединению потребителей...».[1]

Энергетическая система меняется и развивается с изменениями в стране и потребностями общества. Соответствие возможностей энергетики ожиданиям потребителей электроэнергии показывает её эффективность. Отрасль технологически сложная, затратная и инерционная не во всём готова к требованиям развития. Растущие возможности энергетики пока ещё отстают от запросов общества, ожиданий потребителей (рис.2). Разрыв между ними требует критических изменений в энергетике.

Решения могут быть по двум направлениям. В одном, – это наращивать надёжность составляющих сетей, улучшать оборудование, заменять устаревшее, энергозатратное оборудование и материалы на новые, более мощные, работоспособные. В сетях будет меньше отключений, потери электроэнергии снизятся, и на рост потребления не потребуется вводить дополнительные электростанции. Путь достаточно затратный, так как реконструкция сетей требует огромных капиталовложений, что отразится в тарифах на электроэнергию.

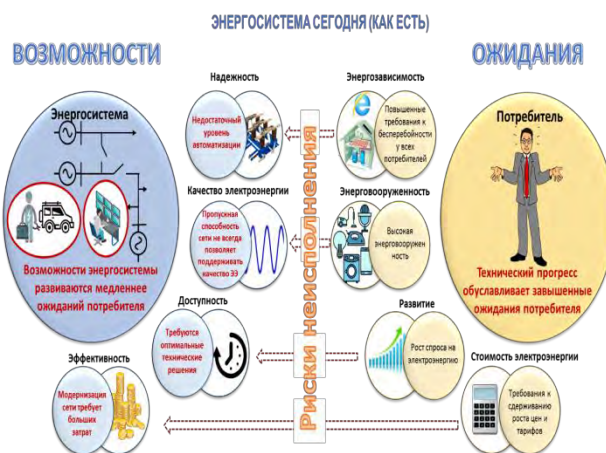


Рис. 2. Представление энергосистемы

Вторым направлением будет «повышение системной надёжности за счёт интеллектуализации электрических сетей». Направление во многом новое и сложное, но это позволит одновременно достичь целей: надёжность, качество, доступность и эффективность. [2].

Целевая картина энергетики будущего в следующем: изменяется образ потребителя электроэнергии, который будет управлять энергопотреблением, имея локальную генерацию и системы накопления энергии, потребуется регулирование тарифов на электроэнергию, энергетика развивается и осваивает новые территории. Такие скорые изменения потре-

буют готовности энергетики к управлению и обработке входных массивов данных, увеличенных в десятки раз, время реагирования на изменения должно практически обнулиться. Иными словами, энергетика должна пережить цифровую трансформацию. [2].

Эти мероприятия позволят «...повысить энергетическую безопасность регионов страны путём создания новых инфраструктурных возможностей и обеспечить новый уровень качества жизни населения, благодаря новым стандартам обслуживания». [1]

Список используемой литературы

1. Концепция «Цифровая трансформация 2030» – М.: «Россети», 2018.
2. Азбука цифровой трансформации. Учебник для работников электросетевого комплекса. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru/document/> (дата обращения: 22.09.2020).

Павлов И.В., Зацепина В.И.

АЛГОРИТМ РЕГУЛИРОВАНИЯ APFR (AVERAGE POWER FACTOR REGULATION)

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк),

Аннотация: в данной работе рассматриваются алгоритмы регулирования установок компенсации реактивной мощности, в частности современные регуляторы компании BMR.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, алгоритм мгновенного регулирования, Average Power Factor Regulation.

Автоматические конденсаторные установки компенсации реактивной мощности (УКРМ) давно и успешно справляются со своей задачей. Для понижения (компенсации) индуктивного характера реактивной составляющей используют введение емкостной составляющей в нагрузку, которая имеет положительный сдвиг фаз напряжения и тока (ток опережает напряжение). Реализуется это путем подключения параллельно нагрузке конденсаторов необходимой емкости. [1].

В результате происходит компенсация, и нагрузка со стороны питающей сети становится активной, с малой долей реактивной составляющей. Компенсация имеет ступенчатый характер, это означает, что контакторами переключаются трехфазные конденсаторы. [2].

До недавнего времени наиболее распространенным был алгоритм мгновенного регулирования, когда регулятор измерял текущее значение реактивной мощности и подключал столько конденсаторов, чтобы $\cos \varphi$ был не меньше заданного. Такой способ регулирования имеет существенные недостатки – низкую точность поддержания заданного среднего $\cos \varphi$ и вероятность перекомпенсации.

Компания BMR разработала новый алгоритм регулирования APFR (Average Power Factor Regulation). Регулятор компании BMR, изображенный на рисунке 2, способен отслеживать вместо мгновенного среднее значение $\cos \varphi$ за интервал времени. Помимо подключения определенного количества конденсаторных ступеней, регулятор еще управляет длительностью их подключения таким образом, чтобы средний $\cos \varphi$ в точности равнялся заданному, что фиксирует электросчетчик. [3].

Регуляторы BMR могут работать и по традиционному алгоритму измерения мгновенного $\cos \varphi$, для чего достаточно изменить параметр настройки.

Кроме алгоритма APFR, регуляторы BMR отличаются:

- возможностью подключения конденсаторных ступеней произвольных мощностей;
- автоматическим измерением мощности ступеней и настройкой;
- возможностью работы с обычными и тиристорными контакторами и другими особенностями, позволяющими причислить их к числу наиболее совершенных регуляторов реактивной мощности нашего времени.



Рисунок 2 – Регулятор компании BMRFCR-12, использующий алгоритм APFR

Исследование выполнено частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 17-48-480083 p_a

Список использованной литературы

1. Мясоедов Ю.В. Компенсация реактивной мощности в системах электро-снабжения с распределённой генерацией [Текст] / Ю.В. Мясоедов // учеб. пособие. – И: АмГУ, 2013. – 117 с.
2. Гужов Н.П., Ольховский В.Я., Павлюченко Д.А. Системы Электроснабжения [Текст] / Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко // Новосибирск: И.: НГТУ, 2008. – 258 с.
3. PowerfactorcorrectionBMRTrading [Электронный ресурс] / Режим доступа - <http://www.bmr-trading.com/en/products/power-factor-correction>, свободный

Пустовая О.А., Пустовой Е.А.

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

¹ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ (г. Благовещенск)

Аннотация: использование архиваторов ограничено размерами физической памяти, существующей в настоящее время, увеличение коэффициента сжатия позволит существенно снизить объём информации. Нами предлагается использовать в качестве основной модели тензорное вычисление. В основу вычисления положено использование тензора третьей валентности с использованием аргументов в виде рядов Фурье

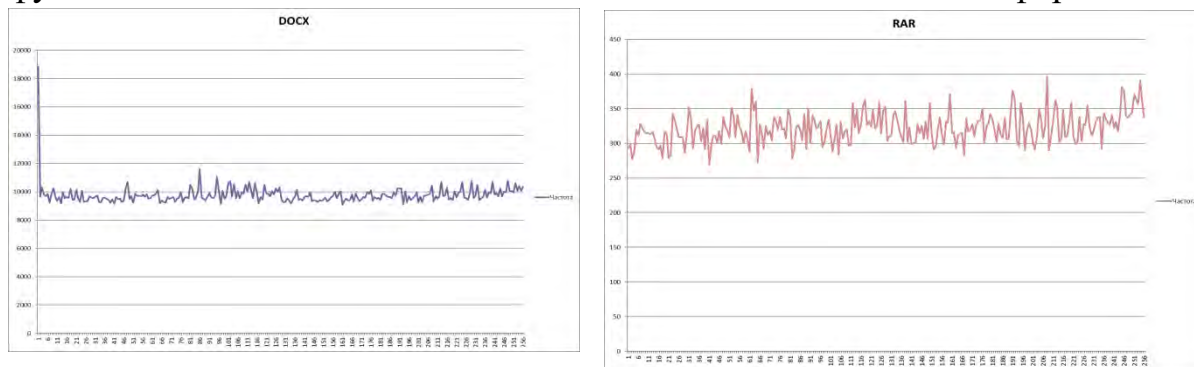
Ключевые слова: архивация, тензор, матрица, гармоника, ряд.

Цифровая информация одна из самых больших ценностей современного общества. В настоящее время её количество стремится к астрономическим величинам. Огромные объёмы создаются ежедневно большим количеством пользователей. В этом случае под понятием пользователь необходимо понимать не только человека как физическое лицо, но и производственные мощности, оснащенные автоматизированными системами сбора данных, контрольно-измерительная информация от которых таких систем поступает на серверы для долговременного хранения в режиме 24/7. Так же необходимо учитывать и глубину по времени имеющейся базы данных. Объём базы данных будет пропорционален времени её накопления. Работа с такими объёмами информации требует больших мощностей хранения и отдельных инструментов обработки данных, передачи, ввода, вывода и др. согласно формируемым пользовательским запросам и потребностям производства. Одной из отраслей, существенно зависящих от количества архивной информации, является энергетика. Переход от аналоговых систем контроля к цифровым и повсеместный сбор, и хранение больших информационных потоков, получаемых от систем телеметрии энергетических объектов, породил информационный вал, который со временем грозит значительно снизить эффективность или ограничить алгоритмы анализа информации до неэффективных уровней при этом требования к информационным хранилищам для её размещения может достичь нерентабельных значений. [1]

Стремящийся к бесконечности, объём накопления информации имеет физические ограничения, связанные с количеством дисковых накопителей и емкостью обусловленной уровнем развития современной тех-

нологии. Для снижения остроты проблемы в настоящее время используют специализированное программное обеспечение, которое позволяет провести архивацию накопленной информации. Однако работа современных систем архивации данных ограничена принципами, введенными в работу ещё в 1952 году Д.А.Хаффманом.

Прогрессивный для своего времени метод, позволивший существенно снизить потребность в мощностях хранилищ информации, с течением времени метод Хаффмана трансформировался в мощный ограничивающий фактор развития систем архивации. В настоящее время метод Хаффмана дополняется сложными компьютерными моделями, предсказывающими распределение данных и является современным пределом в алгоритмах снижения избыточности данных. Считается, что невозможно построить более эффективную систему архивации данных на основе других алгоритмов. Положенный в основу работы архиваторов алгоритм представляет собой использование набора простейших математических функций на основе использования статистического анализа информации.



а. б.
Рисунок 1 – Частота появления чисел в файле
(а. формат docx, б. формат rar)

В исходном состоянии любой файл представляет собой набор цифр от 0 до 255 частота появления которых варьируется (рис.1.а.), для архивации файла создаётся таблица - дерево Хаффмана, согласно которой значения встречающиеся редко имеют наибольший уникальный цифровой код, а значения встречающиеся часто наименьший уникальный цифровой код. Итогом процесса архивирования можно считать файл частота появления в котором цифр примерно одинаковая (рис.1.б.). Успешность архивации напрямую зависит от математической функции использующей дерево Хаффмана в процессе архивации, и чем ближе её характеристики к фактическому распределению чисел в файле, тем эффективнее сжатие.

Однако сам по себе процесс сжатия в такой форме малоэффективен, так как с течением времени качественные характеристики информации

существенно изменились и требуют новых подходов к сжатию. Так, многие производители программного обеспечения при сохранении данных предварительно архивируют их или шифруют, тем самым изменяя и скрывая избыточность файлов.

Одним из возможных вариантов совершенствования алгоритмов сжатия информации можно считать использование матричного метода анализа данных (в частности тензора третьей валентности), с использованием построения рядов Фурье, Эйлера и др. За основу предполагается принять трёхмерное изображение массива информации – тензор третьей валентности (рис.2.а.). [2]

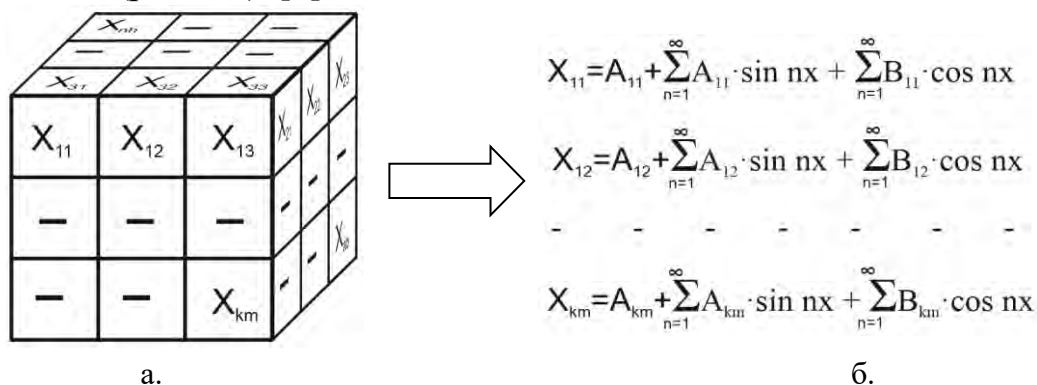


Рисунок 2 – Математическая модель процесса архивации данных (а. трёхмерный блок массива информации, б. функциональная зависимость)

Описание каждого элемент которого предполагается как ряд Фурье или его аналог. Использование в качестве функции ряда Фурье позволит при помощи гармонических составляющих прогнозировать процесс архивации файла.

Решение таких кубов осуществляется с использованием стандартных приёмов тензорного вычисления, однако с учётом того, что сам аргумент X_{km} и другие представлены гармоническими составляющими. При решении в виде, представленном на рисунке 2 мы получаем результат для идеального состояния данных, если распределение чисел в файле отличается от равномерного, то требуется исключить часть гармоник из представленного ряда.

Несомненно, предлагаемый вариант математической модели архивации данных достаточно сложен для вычисления, однако современные производительные мощности ПК позволяют снизить время, затрачиваемое на процесс архивации и увеличить коэффициент сжатия информации.

В дальнейшем нами планируется разработка архиватора на основе представленной математической модели.

Список используемых источников

1. Становление стандартов передачи телемеханических данных в электроэнергетике (МЭК 101/104) – особенности разработки [Электронный ресурс] Хабр – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/167327/> - Дата обращения: 6.11.2020 г.
2. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров [Текст] /Андре Анго – 2-е издание, стереотипное – Москва: Главная редакция физико-математической литературы, 1967 – 780 с.

Седых К.В., Зацепина В.И.

СИСТЕМЫ МКС КАК ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Липецкий государственный технический университет

***Аннотация:** в работе рассматриваются мультиконтактные коммутационные системы для секционирования и резервирования участков сетей 0,4 кВ.*

***Ключевые слова:** интеллектуальные сети, цифровизация.*

Проблема ограниченности традиционных источников энергии стоит очень остро уже последние несколько лет. И главным направлением развития в поисках альтернативы, естественно, стали возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Но важной задачей является необходимость интеграции выработки энергии посредством традиционных и возобновляемых источников в единую систему. Решить эту задачу призвана система интеллектуальных электрических сетей, разработанная зарубежными и российскими специалистами, которая получила название SmartGrid. Говоря простыми словами, «умные сети» должны обеспечить автоматизацию и цифровизацию сетей электроснабжения, тем самым повышая их надежность, эффективность и устойчивость производства и распределения электроэнергии, уменьшая время устранения аварий [1].

В наши дни на стольком высоком уровне развития интеллектуальных электросетевых комплексов, не в полной мере отображены и проработаны вопросы взаимной работы электросетевых объектов. Именно для решения данной задачи предлагается внедрение мультиконтактных коммутационных систем (МКС) – систем секционирования и резервирования участков ЛЭП сетей 0,4 кВ. Принцип работы основан на том, что данные системы способны осуществлять независимое управление тремя и более силовыми контактами. Данный принцип построения позволяет осуществлять изменение конфигурации системы электроснабжения и подключать напрямую к сетям 0,4 кВ источники малой генерации. Важнейшим составляющим элементом данных систем являются микроконтроллерные блоки управления (МБУ), который позволяет реализовывать принцип высокоинтеллектуальной автоматики [2]. Помимо этого, МКС оборудуется устройствами контроля, мониторинга и учёта электроэнергии. Все данные с МКС пере-

даются в центр сбора информации, что в свою очередь позволяет делать выводы и работе всей сети в целом, анализировать и контролировать её.

Данное оборудование позволит производить сетевое резервирование при помощи средств секционирования и местного резервирования, в том числе малой генерации ВИЭ. Для обеспечения согласованной работы основной системы электроснабжения и систем выработки ВИЭ применяются АКБ, в роли которых выступают системы накопления энергии (СНЭ). СНЭ при рабочем режиме системы электроснабжения способны не только накапливать электроэнергию, но и передавать её для осуществления питания удалённых потребителей. Но на случай аварий в сети СНЭ никогда не разряжаются полностью. Интеграция СНЭ и источников малой генерации в единый комплекс даёт возможность оптимизировать загрузку единой энергосистемы и значительно повышать надёжность сети посредством резервирования потребителей 1 и 2 категории [3].

Беря во внимание всё вышеизложенное, можно сделать вывод, что внедрение систем МКС позволяет автоматизировать переключения между разными участками сети, тем самым меняя её конфигурацию. А возможность секционирования и резервирования значительно повышает надёжность как отдельных элементов СЭС, так и её в целом.

Исследование выполнено частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 17-48-480083 p_a

Список используемой литературы

1. Новикова В. А., Афтаев В. И., Городских А. А., Дворянцев М. А. Умная сеть электроснабжения – Умный дом. // Приоритетные направления развития энергетики в АПК: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2017. – С. 138-141.
2. Лансберг А.А. Повышение надёжности электроснабжения поселка Корсунь посредством применения мультиконтактных коммутационных систем // Научный журнал молодых ученых. – 2019. – № 1 (14). – С.51-60.
3. Лансберг А.А. Мультиконтактная коммутационная система МКС-4 и преимущества ее применения // Энергетика. Проблемы и перспективы развития: материалы IV Всероссийской научной конференции. Научное электронное издание. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2019. – С. 117-119.

Зацепин Е.П., Старцева Д.О.

РОЛЬ ВЕМ-МОДЕЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены основные принципы совместного использования ВЕМ и BIM-технологий, а также причины востребованности такого метода моделирования для энергоэффективности объектов электроэнергетики.*

***Ключевые слова:** ВЕМ-технологии, BIM-технологии, энергоэффективность в электроэнергетике.*

Математическое моделирование энергопотребления, которое сокращенно называют ВЕМ (Building Energy Modeling) при совместном использовании с принципом BIM (Building Information Modeling) проектирования позволяют создавать энергоэффективные модели, которые максимально приближены к реальным условиям эксплуатации объектов. Ранее, в работах таких авторов как Дубинин А.А., Горобченко Д.В., Гримитлин А.М., Денисихина Д.М. уже были описаны методы и инструменты работы для энергетического моделирования зданий и сооружений в статьях [1, 2]. На основе данного материала можно назвать ряд обязательных условий для такого вида проектирования:

- Корректная с точки зрения структурной целостности и отсутствия коллизий между элементами BIM или САД модель;
- Наличие данных о погодных условиях;
- Расписание часов и режимов работы оборудования;
- Схемы и математические модели инженерного оборудования.

Стоит отметить, что за рубежом, особенно в странах Европы и США данные энергетические модели активно используются. В России моделирование энергопотребления не получило широкого практического применения, так как энергомоделирование в России не является обязательным для требований экспертиз.

Для того, чтобы энергетическая модель объектов электроэнергетики была востребована в России, необходимо чтобы:

- проектировщик сам планировал эксплуатацию энергетического оборудования, так как в данном случае он пожелает спрогнозировать расходы на энергопотребление;

- заказчик видел энергетическую модель объекта электроэнергетики как дополнение к «Энергоэффективности»;
- появилось сертифицирование оборудования и объектов электроэнергетики по зеленым стандартам, так как в данном случае энерго моделирование будет являться обязательным условием.

Заключение: В данной статье нами были рассмотрены основные принципы энерго моделирования энергетических объектов, а также пути решений, которые помогут внедрить такой принцип проектирования в России. Стоит отметить, что совместное использование ВЕМи ВІМ проектирования позволит создать набор начальных решений с различными вариантами параметров и для каждого решения сделать прогноз о энергопотреблении и годовой стоимости эксплуатации различных объектов электроэнергетической отрасли. Нами было выдвинуто предположение о том, что использование энергетических моделей для электроэнергетики значительно сократит денежные и временные расходы на эксплуатацию таких объектов. Прояснению данного вопроса и будут посвящены наши дальнейшие исследования.

Исследование выполнено частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 17-48-480083 р_а

Список использованных источников

1. Дубинин Александр Александрович, Горобченко Даниил Витальевич. Моделирование энергопотребления зданий // МОК Казахская головная архитектурно-строительная компания. 2020. №7-2.
2. Гримитлин Александр Моисеевич, Денисихина Дарья Михайловна. Энергетическое моделирование – инструмент повышения энергоэффективности зданий // Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2018.

Патрикеев Л.Н.

ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Профессор кафедры микро и нанoeлектроники НИЯУ МИФИ,
вице-президент и Почётный член
Нанотехнологического общества России

1. Экология и перспективы развития энергетики

В работах И. Криштафовича [1] и А. Потёмкина [2] убедительно показано, что мир, в котором мы живём, стремительно меняется под действием экологических факторов и активно деградирует. Скорость деградации так велика, что позволяет говорить о *рекурсивной* эволюции биосферы и резком росте проблем жизнеобеспечения на Земле уже к 2050–2075 годам.

Встречаясь с молодёжной аудиторией, хорошо усвоив уроки семейства Медоуз [3] и авторов работ [1,2], и в шутку и всерьёз я не перестаю призывать девушек и женщин «Немедленно рожать! Рожать детишек, чтобы успеть насладиться жизнью в привычной нам среде. Не ждать, когда экокатастрофа преобразит жизнь на нашей планете до неузнаваемости».

В работе А. Гулевича с соавторами [4] дан прогноз развития двухкомпонентной ядерной энергетики с замкнутым топливным циклом вплоть до 2100 года (рис. 1).

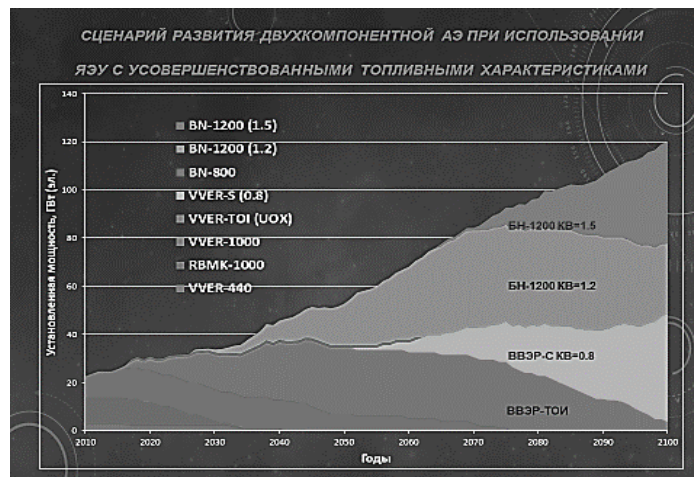


Рис 1. Развитие двухкомпонентной АЭ при использовании ЯЭУ с усовершенствованными топливными характеристиками

В альтернативной статье Е. Велихова с соавторами [5] предлагается другой сценарий развития атомной энергетики, основанный на интегра-

ции первого направления с термоядерным синтезом. С перспективой уже до 2200 года.

Анализ проблем и потенциал двух ядерных технологий, основанных на реакциях синтеза легких ядер и деления тяжелых, показывает, что рост каждого из этих направлений неизбежно приведет к необходимости преодоления еще не решенных проблем технологического, материаловедческого, экологического и экономического характера, включая и все возможности нанотехнологий.

Заметим, кстати, что хотя портфель заказов Росатома на строительство новых АЭС достаточно велик (около 30 мощных блоков), многие страны не участвуют в этих проектах, а Германия, например, полностью закрыла эксплуатацию 4-х своих АЭС.

2. Рынок нанотехнологий

На рис. 2 в самом общем виде приведен раздел мирового рынка нанотехнологий по направлениям. Общий мировой объем продаж всех промышленных наноизделий в 2019 году превысил уровень в 1 трлн долл. Попутно отметим, что уровень производства и продаж отечественной нанопродукции составляет не более 0,3 % от мирового. В настоящее время практически все направления нанотехнологии находят применения в атомной технике.

Направление	Доля рынка, %
Наноэлектроника	40 – 45
Наноматериалы	30 – 35
Биотехнологии	9 – 14
Полимеры	8 – 12
Электрохимия	3 – 5
Оптика	2 – 4

Рис. 2. Рынок нанотехнологий

Наноэлектронике и её элементной базе (ЭБ) принадлежит бесспорное первенство. В конце 2018 года на заседании президиума Нанотехнологического общества России на вопрос проф. Г.Г. Малинецкого «Что является главным для России сейчас?» академик Ж.И. Алфёров ответил: «Главным для России сейчас является *элементная база*. Возможности оружия сегодня на 80–90 % определяются той электроникой, которая в него «защита». Современные микросхемы являются «интеллектом» всех отраслей промышленности. Именно этим и надо заниматься в первую очередь». Ситуация очень сложная.

В современной атомной энергетике обеспечение гарантированной безопасности её использования и повышения уровня экологической безопасности и уровня комфортности среды обитания прежде всего связано с созданием и внедрением **нанoeлектронных** комплексов автоматизированного управления и контроля за всеми составляющими производства энергии. Это обстоятельство настоятельно требует уделить **нанoeлектронике** первое место в ряду проблем внедрения нанотехнологий в атомную технику.

Отечественная промышленность, производящая наноэлементную базу систем управления и контроля (заводы «Ангстрем» и «Микрон», например) существенно уступают зарубежным поставщикам ЭБ. На 75–80 % эти предприятия зависят от поставок импортного технологического оборудования и на 80–90 % от необходимых реактивов. Кроме того, приобретение и использование зарубежной элементной базы затруднено из-за перманентных запретительных мер, но главное – из-за опасности приобретения чипов, снабжённых элементами несанкционированных отказов.

Отечественной электронной промышленности трудно конкурировать с иностранными заводами.

В июле 2017 года IBM и Samsung впервые продемонстрировали 5-нм техпроцесс. Они сумели разместить 30 миллиардов транзисторов на чипе размером $2,2 \times 2,2$ мм²! Вслед за этим сообщением тайваньская фирма NSMC – производитель полупроводников – начала строительство своей новой фабрики, предназначенной для изготовления микрочипов по технологии 5 нм. Первая партия будет выпущена уже в начале 2020. Интересно, что фирма объявила о том, что в 2020 году освоит выпуск чипов по технологии 3 нм! Отметим, что в строительство своего нового завода фирма вложила 25 млрд долл.

Ничего подобного (при нашей, отечественной технологии 90–45 нм и наших финансовых возможностях) мы себе позволить не можем. Как же России выходить из этого плачевного положения?

Выход подсказывают две японские фирмы.

Под управлением фирмы Yokogawa (и близкой ей Toyota) продемонстрировали проект мелкосерийного производства чипов Minimal Fab (рис. 3).

На взгляд участников совещания по созданию мелкосерийного производства чипов [7] корень успеха лежит не в том, что используются подложки малого диаметра, а в том, что перенос пластин от одной технологической установки в другую осуществляется при помощи специального герметичного контейнера. Такой контейнер снабжается специальной, меняемой меткой, не позволяющей нарушить последовательного техпроцесса и не требующий **никаких чистых комнат**.



Рис. 3. Пример участка по производству чипов на пластинах диаметром 25 мм

По существующим данным для обеспечения нормального функционирования и развития оборонного сектора России общая потребность в современной ЭБ микроэлектроники не превышает 500 тыс. чипов в год при большой номенклатуре. Такие заказы не интересны для крупных фабрик, но могут выполняться *мелкосерийными* производствами. Малые заказы и разработки с производством 100–1000 чипов в месяц могут выполняться технологическими центрами при университетах, в дизайн центрах, на предприятиях-производителях радиоэлектронной продукции. Таких производств в России нужно не меньше 100.

В настоящее время в РФ имеется ряд предприятий разрабатывающих и производящих качественное оборудование для работы с пластинами 50 – 100 – 200 мм. *Именно их и следует ориентировать под разработку технологического оборудования для работы с пластинами диаметром 25 мм, но с предельными возможностями (до 7 нм) как с Al, так и Si металлизацией с возможностью включения неорганических мемристоров на основе оксидов металлов [8].*

Если технологических центров будет много, а только в этом случае и стоит затевать предлагаемый проект, то заказы будут интересны предприятиям – разработчикам оборудования. Создаваемые технологические центры будут ориентированы, в основном, под выполнение заказов оборонных предприятий и малых предприятий-разработчиков новой техники. Они, также, будут ориентированы на работу с отечественными дизайн-центрами.

Все оборудование следует разрабатывать как взаимно-совместимое по заказу или Минпромторга или Концерна «РОСЭЛЕКТРОНИКА».

К настоящему времени по проекту **minimal Fab** из 50–60 необходимых технологических модулей уже разработаны 14. В процессе разра-

ботки находятся модули многолучевой электронной литографии и модули ионной имплантации. Завершение разработки этих модулей планируется в ближайшие 1–2 года.

Ориентировочная стоимость оборудования такого типа должна быть в районе \$40-50 млн. То есть полные затраты на сотню центров будут составлять не более \$5 млрд., что эквивалентно стоимости одного мегафаба. Полный объем технологических центров может, как легко видеть, поставлять до 100000 чипов в месяц и при этом обеспечивается максимальная гибкость, безопасность, скорость производства и разработок.

3. Перспективы развития элементной базы

Элементная база для систем искусственного интеллекта, а это направление наиболее актуально, широко рассмотрены в целом ряде работ, опубликованных руководителями отечественной фирмы «Модуль» [9-11]. В этих работах основные предложения связаны с разработкой сверхвысокочастотных цифровых элементов на основе джозефсоновской логики. Кроме того, в работах [12-13] предложены элементы на основе мемристоров и ДНК.

Список используемых источников

1. И. Криштафович. Рекурсивная эволюция. Развитие Биосферы. – М.: ФЛИНТА, 2018. – 356 с.: ил.
2. А. Потёмкин. EuRISAA Мировоззренческая экологическая революция. www.euricaa.com
3. Донелла Медоуз, Й. Рандерс, Д. Медоуз. Пределы роста: Спустя 30 лет. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2012.
4. А.В. Гулевич, Д.А. Клинов, М.В. Баканов, Троянов. Двухкомпонентная ядерная энергетика с замкнутой топливной циклом. – М., МИФИ. 5 декабря 2018 г.
5. Е.П. Велихов, В.Д. Давиденко, В.Ф. Цибульский. Заметки о будущем ядерной энергетике. – М.: ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез. 2019, т. 42, вып. 1.
6. Л.Н. Патрикеев. От микро к нано- и биотехнологиям. – М.: НИЯУ МИФИ, 2019.
7. В.А. Быков. Предложения по стратегии развития микро-, наноэлектроники России. NT-MDT. Spectrum Instruments.
8. С.Ю. Удовиченко. Технологические и системные проблемы мемристорной техники. Семинар № 66 НИЯУ МИФИ- НОР. 21.05.2020.
9. Л.Н. Патрикеев. Нанобетон. Наноиндустрия, № 6, 2007, с. 14–16.
10. В.С. Першенков, Родин А.С., Бакеренков А.С. Физические модели радиационных эффектов в приборах биполярной технологии. Датчики и системы. № 5 (236). 2019. С. 4–11.

Чекулдаева С.Р., Зацепина В.И.

НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕЕ

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)

Аннотация: в работе рассматриваются факторы, влияющие на снижение надежности, а также проблема устаревания воздушных линий электропередачи.

Ключевые слова: надежность, воздушные и кабельные линии, цифровизация.

Обеспечение надежного и бесперебойного электроснабжения потребителей до сих пор является очень важной проблемой электроэнергетики.

Надежность электроснабжения представляет из себя способность системы электроснабжения (далее СЭС) обеспечить потребителей электроэнергией определенного качества в любой момент времени [1]. При этом она подразумевает бесперебойное и качественное электроснабжение. На рис. 1 представлены основные причины снижения надежности СЭС.

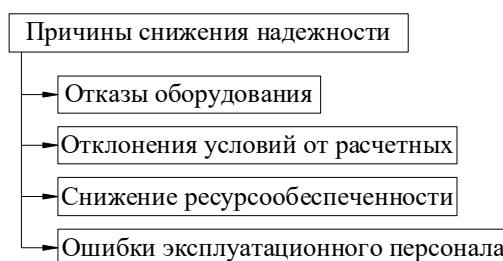


Рис. 1. – Основные причины снижения надежности

Воздушные линии электропередачи (далее ВЛ) просты в монтаже и гораздо более дешевые, чем кабельные, поэтому получили широкое распространение, но именно они в большей степени снижают надежность системы, на их долю приходится около 85 - 90% всех аварий в СЭС. Повреждения ВЛ зависят от климатических факторов (грозовые перекрытия изоляции, ветровые и гололедные нагрузки, вибрация и пляска и т.д), а также износ и устаревание опор, приводящие к ослаблению прочности деталей и, как следствие, их разрушению. Помимо этого, заросченность ВЛ,

расположенных в отдаленных районах не менее опасна, поскольку сухие ветви и стволы деревьев также крайне часто приводят к обрыву проводов и повреждению опор [2].

Кабельные линии являются более надежными и долговечными, основная причина их повреждения – нарушение механической прочности строительной техникой при земляных работах. Высокая стоимость является фактически единственным их недостатком, однако их применение позволит в значительной мере повысить надежность, а также качество электроснабжения.

Согласно распоряжению правительства РФ № 1715-р от 13.11.2009 была утверждена Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Согласно данной стратегии была поставлена задача повысить вероятность бесперебойной работы СЭС с вероятностью $P = 0,996\dots 0,9997$ [3]. В настоящее время благодаря продвигающейся политике всеобъемлющей цифровизации в системах электроснабжения нашей страны проходит глобальная модернизация, по итогам которой строятся новые сети и цифровые подстанции, а также на базе старых сетей устанавливаются такие устройства, как реклоузеры, умные выключатели, индикаторы коротких замыканий, а также применяются беспилотные летательные устройства для осмотра линий электропередач с воздуха. Подобные меры безусловно позволяют значительно повысить надежность СЭС, благодаря преждевременному отслеживанию возможных аварий, а также уменьшить время, необходимое на устранение повреждений.

Однако необходимо отметить, что, не смотря на внедрение передовых технологий, большинство сетей нашей страны сильно устарели и количество аварий на ВЛ с каждым годом будет только увеличиваться, поэтому в совокупности с установкой на них новых устройств требуется тотальная реконструкция линий электропередачи.

Исследование выполнено частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 17-48-480083 р_а

Список используемых источников

1. Алферова, Т. В. Надежность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса: учеб. пособие / Т. В. Алферова, О. Ю. Пухальская, А. А. Алферов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 112 с.
2. Сафонов, В.И. Надежность систем электроснабжения: учебное пособие. / В.И. Сафонов, П.В. Лонзингер. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 90 с.
3. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/15357>, свободный (дата обр. 17.10.2020).

СЕКЦИЯ 3.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Акулинин Е.И., Голубятников О.О., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ АДСОРБЦИОННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ КИСЛОРОДА ИЗ ВОЗДУХА

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
(г. Тамбов)*

Сформулирована и решена задача определения конструктивных параметров (внутреннего диаметра адсорбера, длины слоя адсорбента, диаметра гранулы адсорбента, пропускной способности впускных и выпускных клапанов) и режимных (управляющих) переменных (давления на выходе компрессора, времени цикла "адсорбция–десорбция", коэффициента обратного потока, законов изменения во времени степени открытия впускных и выпускных клапанов), при которых достигается максимальная степень извлечения кислорода в двухадсорберной установке короткоцикловой безнагревной адсорбции (КБА) с цеолитовым адсорбентом NaX с учетом выполнения требований по чистоте кислорода, производительности установки и ресурсосбережению гранулированного адсорбента. Установлено, что полное скачкообразное открытие впускных и выпускных клапанов не обеспечивает выполнение ограничения по скорости воздушного потока в "лобовом" слое адсорбента (менее 0,2 м/с), что приводит к истиранию, пылению и сокращению срока эксплуатации гранулированного адсорбента в циклических адсорбционно–десорбционных процессах и требует определения законов изменения степени открытия клапанов во времени, при реализации которых исключаются гидравлические удары и разрушение адсорбента.

В последние десятилетия наиболее распространенным способом разделения газовых смесей и концентрирования в них целевых продуктов становятся циклические адсорбционные процессы и, в частности, процессы короткоцикловой безнагревной адсорбции (КБА). Существенная доля потребителей использует в своей деятельности не столько чистый кислород, сколько воздух, обогащенный кислородом от 40 об. % до 90 об. %. [1–4].

Целью данной работы является постановка и решение задачи оптимизации конструктивных и режимных параметров двухадсорберной установки КБА обогащения воздуха кислородом, обеспечивающих максимальную степень извлечения кислорода при выполнении требований технологического регламента по чистоте продукта (от 40 об. % до 90 об. %), производительности установки (2 л/мин) и ресурсосбережению гранулированного адсорбента.

Задача оптимизации формулируется следующим образом. При фиксированных значениях $z=(y_{\text{env}}, T_{\text{env}}, P_{\text{env}})$, $y_{\text{env}} = \{20,3; 78,2; 1,5\}$ об. %, $T_{\text{env}} = 303 \text{ К}$, $P_{\text{env}} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$, требуется определить конструктивные параметры $d^* = \{D_A^*, L^*, d_{\text{gr}}, K_v^*\}$ и режимные переменные $u^* = \{P^{\text{in}}, t_{\text{ads}}^*, \theta^*, \Psi_i^{j*}, \Psi_{i+2}^{j*}, i=1, 2, j=\overline{1, m}\}$ такие, что среднее значение степени извлечения кислорода $\eta(u)$ на отрезке времени $[0, t_{\text{st}}]$ достигает максимума η^* :

$$I(d^*, u^*, z) = \max_{d, u} \frac{1}{t_{\text{ads}}(d, u)} \eta(d, u, z), \quad (1)$$

при связях в виде уравнений математической модели [4] и ограничениях:

- на концентрацию продуктового кислорода $y_{1, \text{st}}^{\text{out}}(d, u, z) \geq 40; 60; 90$ об. %;
- на производительность установки $G^{\text{out}}(d, u, z) \geq 2$ л/мин;
- на скорость газовой смеси в слое адсорбента $v_g(d, u, z) \leq 0,2$ м/с;
- на режимы $2 \leq P^{\text{in}} \leq 6 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $1 \leq t_{\text{ads}} \leq 40 \text{ с}$, $0 \leq \theta \leq 5$, $0 \leq \Psi_i^j \leq 1$, $i=\overline{1, 4}$, $j=\overline{1, m}$
- на конструктивные параметры $0,0212 \leq D_A \leq 0,0732 \text{ м}$, $6D_A \leq L \leq 14D_A$ $0,5 \leq d_{\text{gr}} \leq 2 \text{ мм}$, $5 \leq K_v \leq 20 \text{ л/мин}$.

Сформулированная аргументная задача оптимизации (1) при допущении об аппроксимации непрерывных функций управлений Ψ_i^{j*} и Ψ_{i+2}^{j*} , $i=1, 2$ на отрезке времени $[0, t_c]$ кусочно-постоянными функциями относится к классу задач нелинейного программирования. Для ее решения использовали метод последовательного квадратичного программирования в программной среде Matlab.

Анализ графиков, представленных на рис. 1 показывает, что увеличение концентрации кислорода на выходе установки КБА y_1^{out} с 40 об. % до 90 об. % достигается при соответствующем изменении основных конструктивных размеров установки КБА в два и больше раза (рис. 1, б). При этом оптимальные значения режимных (управляющих) переменных изме-

няются следующим образом: давление на выходе компрессора увеличивается в два раза (с $2,25 \cdot 10^5$ Па до $4,5 \cdot 10^5$ Па), коэффициент обратного потока θ – в 4,5 раза (с 0,4 до 1,8), длительность полуцикла в 1,4 раза (с 10 до 14 с). С увеличением времени набора давления адсорбции и, соответственно, длительности стадии адсорбции t_{ads} увеличивается значение равновесной концентрации азота в адсорбенте, что приводит к повышению чистоты продукта от 40 об. % до 90 об. %. Соответственно, увеличение значения θ связано с необходимостью более глубокой регенерации адсорбента на стадии десорбции при увеличении чистоты продукта $y_{1,def}^{out}$. И, наконец, для увеличения расхода атмосферного воздуха в питании установки КБА требуется соответствующее увеличение пропускной способности K_v клапанов.

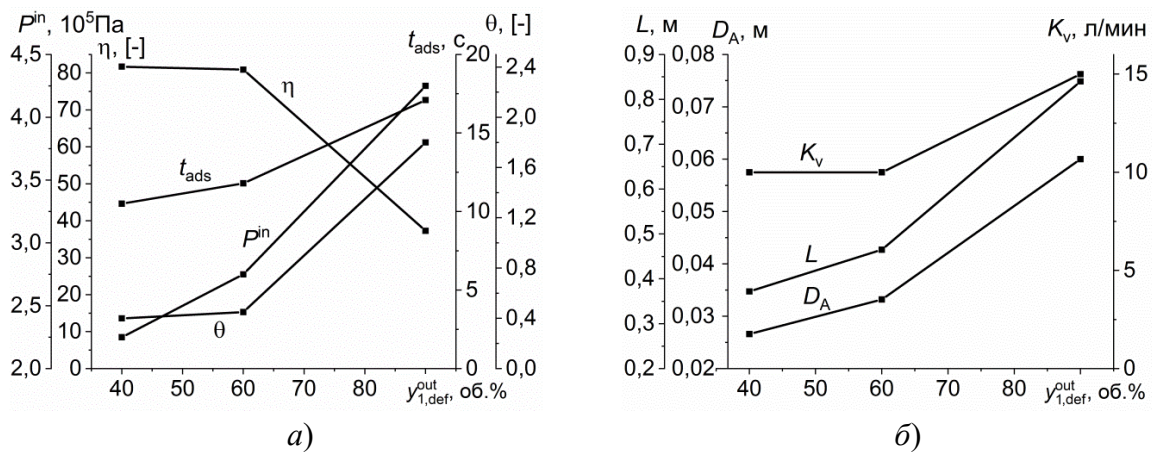


Рис. 1. Оптимальные значения управляющих (а) и конструктивных параметров (б) при требуемой концентрации продуктового кислорода 40, 60, 90 % об. и производительности установки 2 л/мин

На рис. 2,а представлены законы изменения во времени степени открытия впускного клапана установки КБА, а на рис. 2,б – соответствующие им скорости газового потока в "лобовом" слое адсорбента при выполнении ограничений на заданные значения чистоты $y_{1,def}^{out} = 90$ об. % продукционного кислорода и производительности $G_{def}^{out} = 1$ л/мин установки КБА. Из анализа графиков следует, что при скачкообразном открытии впускного клапана (кривая 1 на рис. 2,а) скорость газового потока в "лобовом" слое адсорбента достигает значения 0,47 м/с (кривая 1 на рис. 2,б), что приводит к разрушению цеолитового адсорбента и загрязнению продуктового потока. При ступенчатом (плавном) открытии впускного клапана (кривая 2 на рис. 2,а) скорость потока в лобовом слое адсорбента не превышает критического значения 0,2 м/с (кривая 2 на рис. 2,б).

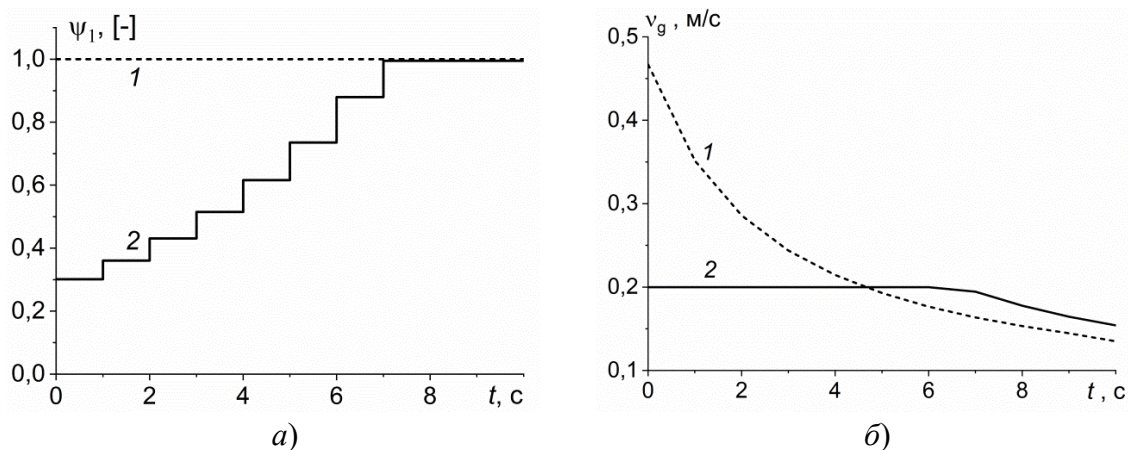


Рис. 2. Динамика степени открытия впускных клапанов установки (а) и скорости потока в лобовом слое адсорбента (б) при оптимальных значениях конструктивных и режимных (управляющих) параметров: 1– при скачкообразном открытии впускного клапана; 2– при ступенчатом открытии впускного клапана

Работа выполнена в рамках Проекта РФФИ № 15-48-03172 р_центр_a

Список использованной литературы

1. Li H., Liao Z., Sun J. et. al. Modelling and simulation of two-bed PSA process for separating H₂ from methane steam reforming. *Chin. J. Chem. Eng.* 2019. 27(8). 1870–1878. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.11.022>.
2. Akulinin E.I., Golubyatnikov O.O., Dvoretzky D.S. et. al. Numerical study of the dynamics of air separation process by pressure swing adsorption. *Bulletin of the South Ural State University, Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software.* 2019. Vol. 12(4). p. 95–103. <https://doi.org/10.14529/mmp190407>.
3. Abdeljaoued A., Relvas F., Mendes A. et. al. Simulation and experimental results of a PSA process for production of hydrogen used in fuel cells. *Journal of Environmental Chemical Engineering.* 2018. Vol. 6(1). p. 338–355. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.010>.
4. Akulinin E.I., Golubyatnikov O.O., Dvoretzky D.S. et. al. Optimization and analysis of pressure swing adsorption process for oxygen production from air under uncertainty. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly.* 2020. Vol. 26(1). p. 89–104. <https://doi.org/10.2298/CICEQ190414028A>.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ АДсорбЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ КИСЛОРОДА ИЗ ВОЗДУХА

Выполнены численные исследования динамики процессов короткоциклового безнагревной адсорбции (КБА) разделения атмосферного воздуха, а именно: влияния изменения температуры, состава и давления исходной газовой смеси на чистоту, степень извлечения кислорода и производительность короткоциклового адсорбционной установки в широком диапазоне изменения режимных параметров ее функционирования (давления на выходе компрессора, длительности цикла «адсорбция-десорбция», коэффициента обратного потока). Установлено, что изменение режимных параметров и нагрузки по сырью оказывает существенное влияние на степень извлечения и чистоту кислорода. Установлено, что диапазон значений продолжительности стадии адсорбции и давления на выходе компрессора целесообразно ограничить интервалами 39–43 с и $2.7\text{--}2.8 \times 10^5$ Па, соответственно. Время выхода установки на периодический стационарный режим в среднем соответствует 20–30 циклам «адсорбция-десорбция».

В последние десятилетия наиболее распространенным способом разделения газовых смесей и концентрирования в них целевых продуктов являются циклические процессы короткоциклового безнагревной адсорбции (КБА или в англоязычной литературе PSA – Pressure Swing Adsorption), представляющие особый класс адсорбционных процессов с циклически изменяющимся давлением. В промышленности КБА – процессы широко применяют для безнагревного разделения углеводородов, извлечения метана, концентрирования водорода, кислорода, азота и других газов [1–4].

Цель работы – численное исследование динамики циклических процессов адсорбционного разделения атмосферного воздуха.

Технологический процесс концентрирования кислорода методом адсорбционного разделения воздуха осуществляется в двухадсорберной установке КБА с гранулированным адсорбентом – синтетическим цеолитом NaX и конструктивными параметрами: D_A – внутренний диаметр адсорбера, L – высота насыпного слоя адсорбента, d_{gr} – диаметр гранул адсорбента. Входными переменными в установке КБА являются: 1) нагрузка по сырью G^{in} – расход исходной газовой смеси (атмосферного

воздуха); 2) возмущающие воздействия – температура T_g^{in} , давление P_1^{out} и покомпонентный состав y^{in} исходной газовой смеси, поступающей на разделение в адсорберы. Режимные переменные и установки КБА включают: P^{in} – давление на выходе компрессора, t_{ads} – продолжительность стадии адсорбции (длительность полуцикла адсорбция-десорбция), θ – коэффициент обратного потока.

В состав выходных переменных входят концентрации y_1^{out} продукционного кислорода и сопутствующих веществ, степень извлечения кислорода η , производительность Q установки КБА.

Математическое описание процесса разделения воздуха и концентрирования кислорода приведено в работе [4].

Проводили численные эксперименты по оценке влияния возмущающих и режимных переменных на выходные координаты процесса адсорбционного разделения воздуха в двухадсорберной установке КБА с гранулированным цеолитовым адсорбентом NaX и конструктивными параметрами: $D_A=0,04$ м, $L=0,2$ м, $d_{\text{gr}}=1,6$ мм (таблица).

Таблица. Исходные данные для вычислительного эксперимента

Варьируемые переменные	Номинальные значения	Диапазон изменения
t_{ads} , с	5	0,5–20
θ , отн. ед.	1,7	–
P^{in} , $\cdot 10^5$ Па	4	2–6
y^{in} , об. %	20,8, 78,2, 1	19,8–20,8, 78,2, 1–2
T_g^{in} , К	293	243–303
P_1^{out} , 10^5 Па	1	0,25–1

Из анализа зависимостей на рисунке 1 следует, что для каждого значения давления на выходе компрессора P^{in} существует значение продолжительности t_{ads} стадии адсорбции, при которой достигается максимальное значение концентрации y_1^{out} продукционного кислорода (например, для $P^{\text{in}}=2 \cdot 10^5$ Па и $t_{\text{ads}}=5$ с – $y_1^{\text{out}}=80$ об% (кривая 1)). При длительности стадии адсорбции менее 5 с наблюдается недостаточная регенерация адсорбента (например, для $P^{\text{in}}=2 \cdot 10^5$ Па на отрезке времени t_{ads} от 0,5 до 5 с (кривая 1), а при большей длительности концентрация продукционного кислорода y_1^{out} уменьшается из-за проскока части газовой смеси в слое адсорбента (например, при $P^{\text{in}}=2 \cdot 10^5$ Па и продолжительности t_{ads} стадии адсорбции от 5 до 20 с (кривая 1), что приводит к снижению эффективности работы установки КБА.

Следует отметить, что увеличение давления на выходе компрессора P^{in} с $2 \cdot 10^5$ до $6 \cdot 10^5$ Па приводит к уменьшению продолжительности t_{ads} стадии адсорбции от 5 до 2 с (кривые 1, 3) и повышению концентрации y_1^{out} продукционного кислорода от 80,0 до 92,3 об.%, а также к повышению степени извлечения η от 11,9% до 69,5% (на рисунках не показано) и производительности установки КБА от 0,25 до 4,9 л/мин (на рисунках не показано).

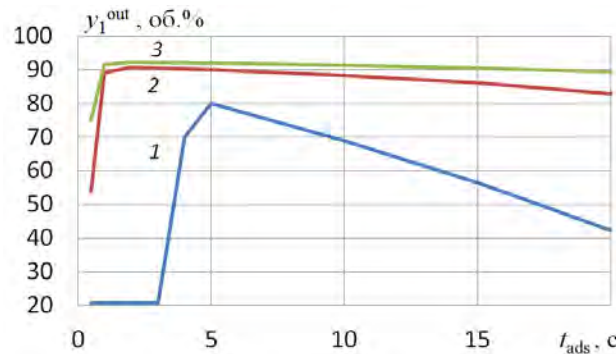


Рис. 1. Зависимость концентрации продукционного кислорода y_1^{out} от продолжительности t_{ads} стадии адсорбции при давлении на выходе компрессора: 1– $P^{\text{in}}=2 \cdot 10^5$ Па; 2– $P^{\text{in}}=4 \cdot 10^5$ Па; 3– $P^{\text{in}}=6 \cdot 10^5$ Па

Анализ зависимостей на рисунке 2 показывает, что для наихудшего случая эксплуатации установки КБА (при повышении температуры окружающей среды и снижении концентрации кислорода в атмосферном воздухе) максимальное значение концентрации продукционного кислорода y_1^{out} уменьшается по сравнению с номинальным режимом от 90 до 60 об.%, и наблюдается резкое снижение степени извлечения кислорода η от 69,5 до 11,0%. Таким образом, при неблагоприятных условиях функционирования установки КБА для поддержания заданной чистоты y_1^{out} и степени извлечения η кислорода следует повышать давление на выходе компрессора P^{in} до $6 \cdot 10^5$ Па и уменьшать продолжительность t_{ads} стадии адсорбции до 2–3 с (рис. 1, кривые 2, 3).

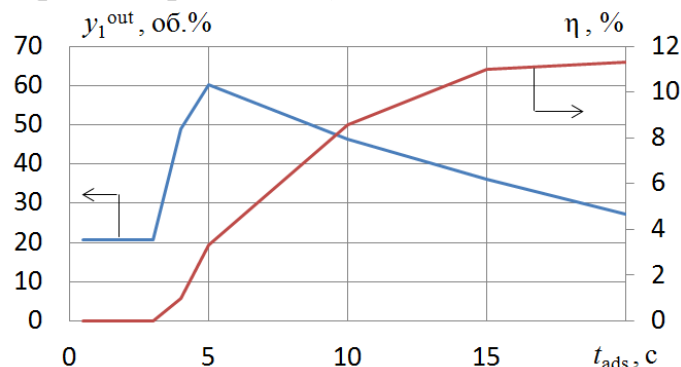


Рис. 2. Зависимость концентрации продукционного кислорода y_1^{out} и степени извлечения η от длительности полуцикла t_{ads} при наихудшем случае эксплуатации установки
Работа выполнена в рамках Проекта РФФИ № 15-48-03172 p_центр_a

Список использованной литературы

1. Li H., Liao Z., Sun J. et. al. Modelling and simulation of two-bed PSA process for separating H₂ from methane steam reforming. *Chin. J. Chem. Eng.* 2019. 27(8). 1870–1878. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.11.022>.
2. Akulinin E.I., Golubyatnikov O.O., Dvoretzky D.S. et. al. Numerical study of the dynamics of air separation process by pressure swing adsorption. *Bulletin of the South Ural State University, Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software.* 2019. Vol. 12(4). p. 95–103. <https://doi.org/10.14529/mmp190407>.
3. Abdeljaoued A., Relvas F., Mendes A. et. al. Simulation and experimental results of a PSA process for production of hydrogen used in fuel cells. *Journal of Environmental Chemical Engineering.* 2018. Vol. 6(1). p. 338–355. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.010>.
4. Akulinin E.I., Golubyatnikov O.O., Dvoretzky D.S. et. al. Optimization and analysis of pressure swing adsorption process for oxygen production from air under uncertainty. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly.* 2020. Vol. 26(1). p. 89–104. <https://doi.org/10.2298/CICEQ190414028A>.

Артемова¹ С.В., Каменская² М.А., Чиен¹ В.Ч.

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Российский технологический университет – МИРЭА¹,
Тамбовский государственный технический университет²*

Аннотация. Рассматривается подход оперативной оценки влажности пастообразного материала в процессе его сушки. Для этих целей предлагается использовать искусственные нейронные сети, обученные по образцовым мерам технологических параметров в адаптивном диапазоне камеры в которой проводят оценку влажности с фиксированной точностью. Обученные нейронные сети производят оценку с относительной погрешностью не превышающей 2%.

Ключевые слова: нейронные сети, влажность пастообразного материала, сушильные установки

При оптимальном управлении процессом с целью минимизации потерь качества продукта и производительности в сушильных установках необходимо производить оценку влажности материала в процессе его сушки в зависимости от значений управляющих и возмущающих воздействий. Исходя из особенностей процессов в сушильных установках, организация оценки влажности пастообразного материала в камерах сушильной установки в реальном времени точными измерительными устройствами представляется весьма затруднительной. В целях производства качественной продукции в сушильных установках необходимо введение ограничений на изменение влажности материала в контролируемых камерах, а также ограничение на конечную влажность материала, вытекающие из требований соответствующего технологического регламента. Подобные условия существенно усложняют задачу идентификации моделей, применимых для алгоритмизации синтеза управляющих воздействий процесса сушки. Пути выхода из этой ситуации предлагается искать в использовании технологий искусственного интеллекта, в том числе с применением нейронных сетей [1].

Под искусственной нейронной сетью понимают набор конечного числа слоев, состоящих из однотипных элементов, называемых, применительно к этой теории, нейронами. Между слоями существуют различные типы связей. Число нейронов в слоях может быть различным. Оно выбирается с учетом условий и требуемого качества решения задачи. На число

слоев имеется ограничение по времени решения задачи. Известно, что нейронные сети являются удобными средствами аппроксимации. Созданная из простых элементов нейронная сеть может решать достаточно сложные задачи [2].

В нашем случае при построении нейронной сети присутствует экспертная оценка в виде измеренных значений влажности материала, которая содержится в статистике предварительных наблюдений. Построенная нейронная сеть в некотором порядке перебирает элементы обучающей выборки. Порядок перебора может быть разным. При обучении с учителем, сеть перебирает элементы выборки по несколько раз.

Определение влажности материала φ_i^k на выходе i -й камеры с использованием аналитической модели, производится следующим образом [3].

Измерения проводят группами датчиков – общими и датчиками, установленными в i -й камере. Сигналы, поступающие с датчиков, после нормировки, подают на входы заранее обученной нейронной сети, с выхода которой в реальном времени получают оценку текущей влажности материала в i -й камере [2].

Общие датчики предназначены для определения: влажности и температуры окружающей среды, включения/выключения вытяжного вентилятора, наличия/отсутствия ворошителя, скорости движения пластинчатого конвейера. Датчики, установленные в i -й камере, предназначены для определения: влажности и температуры сушильного агента, степени открытия воздухозаборного окна и шиберов. На основании информации полученной от датчиков и известного значения начальной влажности материала рассчитываются значения входов нейронной сети [2].

Входами сети являются нормализованные значения: x_1 – начальной влажности материала, x_2, x_3 – температуры и влажности окружающей среды, x_4 – скорости движения пластинчатого конвейера, x_5 – наличия или отсутствия ворошителя, x_6 – процента времени работы вытяжного вентилятора, x_7, x_8 – средневзвешенных температуры и влажности сушильного агента в i -й камере; x_9, x_{10} – процента открытия воздухозаборного окна и сбросного шиберов. Обучение нейронной сети организуют по образцовым мерам технологических параметров в адаптивном диапазоне i -й камеры с фиксированной точностью. Нормализация данных производится по следующей формуле:

$$x_q^H = x_q K_{\text{амп}}^H + K_{\text{оф}}^H, \quad q = \overline{1, \Theta}, \quad (1)$$

где q – порядковый номер входа сети; x_q^H, x_q – нормированное и ненормированное значения q -го входа сети; $K_{\text{амп}}^H, K_{\text{оф}}^H$ – амплитудный и офсетный

нормирующие коэффициенты; Θ – количество входов сети, используемой для расчета влажности φ_i^k в i -й камере [2].

Аналитическая модель многослойного персептрона для оценки влажности материала в i -й камере, обученная по выше приведенному алгоритму, представлена в виде:

$$\bar{\varphi}_i = \left[1 + \exp \left(-\beta_{\text{вых}}^{(i)} \left[\sum_{j=1}^{N_i} w_j^{(i \text{вых})} \left(1 + \exp \left(-\beta_j^{(i)} \left[w_{1,j}^{(i)} \bar{x}_1 + w_{2,j}^{(i)} \bar{x}_2 + w_{3,j}^{(i)} \bar{x}_3 + w_{4,j}^{(i)} \bar{x}_4 + w_{5,j}^{(i)} \bar{x}_5 + w_{6,j}^{(i)} \bar{x}_6 + w_{7,j}^{(i)} \bar{x}_7 + w_{8,j}^{(i)} \bar{x}_8 + w_{9,j}^{(i)} \bar{x}_9 + w_{10,j}^{(i)} \bar{x}_{10} \right] - \theta_j^{(i)} \right) \right] - \theta_{\text{вых}}^{(i)} \right) \right]^{-1}, \quad (2)$$

где для сигмоидальных активационных функций нейронов обозначены через $\beta_j^{(n)}$, $\beta_j^{(n+1)}$ – углы наклона для скрытого слоя, а $\beta_{\text{вых}}^{(n)}$, $\beta_{\text{вых}}^{(n+1)}$ – для выходного слоя нейронной сети; $\theta_j^{(n)}$, $\theta_j^{(n+1)}$ – сдвиги для скрытого слоя и $\theta_{\text{вых}}^{(n)}$, $\theta_{\text{вых}}^{(n+1)}$ – для выходного слоя сети; $w_{i,j}^{(n)}$, $w_{i,j}^{(n+1)}$ и $w_j^{(n \text{вых})}$, $w_j^{(n+1 \text{вых})}$ – весовые коэффициенты связей для скрытого и выходного слоя сети; N_i – число нейронов в скрытом слое сети при расчете влажности материала в i -й камере сушильной установки; нормированные значения данных влажности материала $\bar{\varphi}_i$, начальной влажности материала \bar{x}_1 , температуры и влажности окружающей среды \bar{x}_2 , \bar{x}_3 ; скорости движения пластинчатого конвейера \bar{x}_4 , наличия или отсутствия ворошителя \bar{x}_5 , процента времени работы вытяжного вентилятора \bar{x}_6 , температуры и влажности сушильного агента \bar{x}_7 , \bar{x}_8 , процента открытия воздухозаборного окна и сбросногошибера \bar{x}_9 , \bar{x}_{10} [2].

Для получения данных о влажности материала φ_i в реальных единицах измерения выходной сигнал сети денормализуют по формуле:

$$\varphi_i = \frac{\bar{\varphi}_i - K_{\text{оф}}^{\text{дн}}}{K_{\text{амп}}^{\text{дн}}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{амп}}^{\text{дн}}$, $K_{\text{оф}}^{\text{дн}}$ – амплитудный и офсетный коэффициенты денормализации [2].

Полученная аналитическая зависимость (2) позволяет оценивать влажность материала в i -й камере сушильной установки в реальном времени в процессе его сушки. Аналогично строятся модели и для других камер.

В нашем случае относительная погрешность оценки влажности с использованием нейронных сетей не более 2%. Построенная нейронная сеть устойчива к действию дестабилизирующих факторов в некоторых связях, так как роль поврежденных связей берут на себя исправные. Важным свойством нейронной сети является способность к самообучению, за счет накопления и обобщения статистических данных в процессе ее функционирования [2].

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ, проект №20-08-00091-а

Список используемых источников

1. Артемова, С. В. Методология проектирования интеллектуальной информационно-управляющей системы тепло-технологическими аппаратами : монография / С. В. Артемова, А. А. Артемов, М. А. Каменская. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 196 с. – 300 экз.
2. Пат. 2444725 Российская Федерация, МПКG01N2500. Способ оценки влажности пастообразного материала в процессе его сушки в вальцеленточной сушильной установке / Артемова С. В., Грибков А. Н., Брянкин К. В., Назаров А. С. ; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. – № 2010109120/28(012771) ; заявл. 10.03.2010 ; опубл. 10.03.12. Бюл. № 7. – 16 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОМ КОМПЛЕКСЕ

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Пархина», г. Орел

Аннотация. В статье представлено сравнение различных типов БПЛА, которые можно применять для различных целей в электросетевом комплексе. Представлены положительные и отрицательные стороны БПЛА.

Ключевые слова: аппарат, диагностирование, воздушная линия электропередачи.

Авторами [1-3] указывается, что методика беспилотного обследования воздушных линий электропередачи (ВЛ) с воздуха с использованием летательных аппаратов не нова, она уже успела показать свою эффективность. На рынке беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) представлено множество компаний, которые предлагают летательные аппараты с разными техническими характеристиками и ценами.

БПЛА можно разделить на следующие типы категорий:

- «Легче чем воздух»;
- Мультироторный БПЛА;
- Однороторный БПЛА;
- БПЛА с неподвижным крылом;
- Гибридный БПЛА.

Не столь распространенные «легче, чем воздух» БПЛА, в основном, являются воздушными шарами и аэростатами, которые используют более легкие, чем воздух газы для создания подъемной силы и электромоторы для создания тяги. Основными преимуществами этого являются хорошая эффективность, но они страдают от недостатка маневренности, особенно в условиях сильного ветра.

Наиболее широко используемые БПЛА для личных и мелкокоммерческих целей - мультироторные. Как правило, они небольшие, дешевые и легки в управлении. Они обеспечивают отличный контроль, а способность зависать в полете на низкой скорости - это их самое большое преимущество. Отрицательным эффектом мультироторных БПЛА является то, что они потребляют много энергии, чтобы преодолеть гравитацию и находиться в полете. При использовании современных

аккумуляторных технологий они ограничены 20-30 минутными полетами с легким грузом.

Однороторные БПЛА имеют только один ротор для создания подъемной силы и дополнительный хвостовой ротор для противодействия крутящему моменту и удержания курса. На рынке БПЛА они не пользуются той же популярностью и предпочтением, которая есть в пилотируемой авиации. Они могут обеспечить большую эффективность по сравнению с мультироторными БПЛА, на них даже может применяться газовый двигатель для большей выносливости. Основным недостатком - они сложны, дороги, они создают много вибраций, и они опасны из-за длинных острых лопастей. Ими тяжело управлять, поскольку они не очень стабильны, посадки могут быть сложными, где одна ошибка может привести к сбою. Их механика очень сложна, поэтому они дороги в эксплуатации.

БПЛА с неподвижным крылом используют крыло для создания подъемной силы. Они используют энергию только для движения вперед. БПЛА с неподвижным крылом не нуждаются в энергии для нахождения в воздухе, именно поэтому они считаются более эффективными. Исходя из вышесказанного, они могут покрывать большие расстояния, картографировать большие площади и патрулировать в течение длительного времени, отслеживая необходимую цель. В дополнение к высокой эффективности, они также могут использовать газовые двигатели. Газ с большей энергетической плотностью топлива может дополнительно увеличить выносливость вышеуказанного БПЛА. Основные недостатки в том, что они не могут зависать в заданной точке, а для приземления требуется снижение скорости до минимального значения. Другой недостаток заключается в том, что они не могут взлетать и приземляться вертикально. Для взлета БПЛА с неподвижным крылом используются катапульты, при необходимости их можно запустить с помощью броска от руки, а при посадке, приземляются на фюзеляж или с помощью парашюта. Вес полезной нагрузки увеличивается с увеличением размаха крыла, это часто является компромиссом между максимально разрешенным размахом крыла и минимальной требуемой полезной нагрузкой.

Гибриды объединяют в себе преимущества БПЛА с неподвижным крылом, такие как эффективность с преимуществами мультироторных БПЛА, что дает им возможность вертикального взлета. По сути, они спроектированы как БПЛА с неподвижным крылом в дополнении с роторными установками для вертикального взлета и посадки. В настоящий момент технология уже разработана и на той стадии, при которой возможно вернуть производство, но до сих пор на рынке нет надежных поставщиков гибридных БПЛА.

Для использования в электросетевом комплексе наиболее подходят 4 типа БПЛА: однороторные, мультироторные, с неподвижным крылом и гибридные.

У однороторного БПЛА основным преимуществом является возможность вертикального взлета, возможность зависания, хорошее управление камерой и возможность полетов с тяжелой полезной нагрузкой. При этом данный тип опасен для персонала в связи с наличием большого незащищенного винта, нестабильности полета при различных погодных аномалиях и сложности в управлении.

У гибридных аппаратов преимуществами является длительность полета, стабилизация после сваливания, вертикальный взлет. При этом у него существуют критические недостатки: не способен зависать, существует вероятность сваливания при низкой скорости и боковом ветре, несёт маленькую полезную нагрузку.

БПЛА с неподвижным крылом имеет основное преимущество в дальности полета, при котором может покрывать значительные территории. Однако необходимость иметь в наличии площадку для взлета, отсутствие вертикального взлета, невозможность зависания, низкая полезная нагрузка и опасность сваливания при потере скорости делают его малоприменимым для диагностики электросетевых объектов небольшой длины (до 50 км).

Наиболее применим в системах диагностики электросетевых объектов мультироторный БПЛА, который имеет вертикальный взлет, возможность зависания, прост и доступен в эксплуатации, при полете хорошо управляется камера, может нести достаточную для диагностики полезную нагрузку. При этом он не может использоваться для выполнения длительных полетов на большие расстояния (более 50 км).

Список использованной литературы

1. Виноградов А.В. Концепция мобильного измерительного комплекса для обследования электрических сетей / А.В. Виноградов, А.В. Букреев, А.В. Виноградова, А.Е. Семёнов, В.Е. Большев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 3 (36). С. 35-39.
2. Семенов А.Е. Беспилотный летательный аппарат для мониторинга технического состояния линий электропередачи / А.Е. Семенов // В сборнике: Энергетика и информационные технологии. Сборник научных трудов. Ответственный редактор О.А. Пустовая. Благовещенск, 2017. С. 130-134.
3. Чернышов В.А. Способ расширения автономности пилотирования дрона, осуществляющего мониторинг технического состояния воздушной линии электропередачи напряжением 6-10 кВ / В.А. Чернышов, А.Е. Семенов, Е.А. Печагин // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2017. № 2 (65). С. 114-118.

Бурганов Р.А.

УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ НА ЭНЕРГИЮ НА УРОВНЕ ДОМАШНИХ ХОЗЯЙСТВ

Казанский государственный энергетический университет (г. Казань)

Аннотация: *В работе в тезисной форме рассмотрены такие вопросы как суть управления спросом на энергию в домашних хозяйствах в условиях цифровизации энергетики и общества, необходимость учета всех видов энергии, на примерах отдельные положения и проблемы в управлении спросом на энергию.*

Ключевые слова: *управление спросом на энергию, домашние хозяйства, энергосбережение.*

Исследование проблем в сфере управления спросом на энергию имеет актуальный характер, так как в современных условиях интеллектуализация энергетической системы предопределяет необходимость поиск новых резервов в своем становлении и развитии. В научной литературе и на практике большое внимание уделяется рассмотрению управления спросом на электроэнергию со стороны энергетических компаний. Управление спросом рассматривается как функция энергетической компании, когда происходит воздействию на объемы, структуру и режимы энергопотребления на определенной территории. В то же время нельзя оставить без внимания потенциал домашних хозяйств в управлении спросом на электроэнергию. Тем более, население РФ потребляет около 14,3% от общей суммы электроэнергии. Отдельным вопросом стоит определение эффективности использования энергии домашними хозяйствами. Даже, в Швейцарии средняя неэффективность использования электроэнергии домохозяйствами составляет около 20-25% [1].

Цель исследования – определение ряда положений концепции об управлении спросом на энергию в деятельности домашних хозяйств.

Основная часть. Следует отметить то, что обычно под понятием «энергопотребление» понимается только потребление электроэнергии. Это не совсем правильно. В действительности должны быть учтены все виды энергии не только в потреблении, но и в определении показателей эффективности и результативности деятельности хозяйственных субъектов [2], [3]. Так, ученые Массачутского университета придумали краску для стен, которая могла бы обеспечить дом энергией. По сути, краска должна впитывать энергию живых организмов. Собрано устройство Airgen, которое добывает электричество из молекул воды в воздухе за счет

использования бактериальных нанонити. Или пример об использовании энергии шагов для производства энергии. Таких примеров уже много.

В целях комплексного и системного изучения проблем в данной области исследований необходимо дать определение сути управления спросом на энергию на уровне домашних хозяйств. Управление спросом на энергию на уровне домашних хозяйств – это желание домашнего хозяйства получать и использовать все виды энергии в своей жизнедеятельности в зависимости от его покупательской способности. Новые тенденции в электроэнергетике, появление цифровых счетчиков электроэнергии, развитие интеллектуальных сетей создают новые возможности для управления и регулирования объема спроса потребляемой энергии.

Основой управления спросом на энергию является планирование ее потребления, при котором происходит изменения поведения конечных потребителей в использовании энергии. Потребление энергии становится все более мобильным и гибким.

В управлении спросом на энергию домашние хозяйства имеют различные инструменты и технологии, включая использование ограничительных мер в энергопотреблении. Так, можно ограничивать работу энергопринимающих устройства и средств. А сэкономленная энергия позволяет увеличивать доход домашнего хозяйства.

Однако, возникает масса проблем, связанных с возможностями влияния на процесс энергопотребления. С потреблением электроэнергии как говорится «всё ясно». Домашние хозяйства могут свободно оперировать потоком электроэнергии. В любое время члены домашнего хозяйства могут включить или выключить электропринимающие средства. Управление спросом на другие виды энергии требует дополнительного изучения. Например, определенные трудности в управлении спроса вызывает процесс аккумуляции энергии живых организмов.

В управлении спросом на электроэнергию свою роль играет неэластичность спроса по ценам. Домашние хозяйства вынуждены стать ценополучателями и при желании они только могут перейти на двутарифную систему учета энергии. В целом, от количества использованной электроэнергии тарифы не меняются.

К управлению спросом на энергию относится процесс энергосбережения на разных участках деятельности домашних хозяйств. По данным исследователей ожидается, что в ближайшие 20 лет потребление энергии в зданиях вырастет более чем на 40%. А так называемая «вампирическая» электроника - приборы и устройства, которые тратят энергию, даже когда они не используются активно, существенно влияет на уровень энергосбережения. То есть домашние хозяйства должны принять ряд мер по сбалансированию объема спроса на различные виды энергии. Особенно это

касается лиц, проживающих в частных домах. Согласно данным Росстата, более 29% россиян проживают в частных домах, то есть развитие «умных домов» должно стать частью программы национальных проектов.

Эффективность управление спросом на энергию в домашнем хозяйстве можно достичь только за счет использования специальных энергохранилищ, то есть емкостей позволяющих аккумулировать выработанную энергию для последующего использования в быту. В частности, исследователям из Университета Гетеборга удалось найти способ превратить обычные окна в обогреватели на солнечной энергии, способные значительно повысить температуру стекла даже в морозную погоду. Основными функциональными компонентами изобретения являются плазмонные наноантенны. С помощью плазмонов наноантенны способны интенсивно поглощать свет, который затем нагревает всю поверхность.

Чтобы побудить потребителей к эффективному использованию энергии, в ряде стран потребителям предлагаются денежные стимулы с целью, чтобы они намеренно использовали энергию оптимальным образом и избегали потерь энергии. В России необходимо создать специальную программу, может быть в рамках национальных проектов, направленную на создание условий для повышения эффективности управления спросом на энергию на уровне домашних хозяйств.

В заключении необходимо отметить, что управление спросом на энергию в домашних хозяйствах находится на стыке различных научных концепций, имеет особое значение в условиях развития цифровой экономики и энергетики. Оно позволяет повысить надежность энергосистемы, оптимизировать деятельность генерирующих мощностей и повысить ответственность членов семьи за эффективное использование всех видов энергии.

Примечание. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-001-00099 «Теоретико-методологические подходы к разработке моделей энергосберегающего поведения домашних хозяйств в природоподобной экономике».

Список используемых источников

1. Boogen Nina. Estimating the potential for electricity savings in households. *Energy Economics*. 2017. Vol.63. P. 288-300.
2. Burganov R.A., Maimakova L.V., Urazbakhtina L.R., & Golitsyna L.A. On the need to improve the methodology for calculating energy saving and energy efficiency of enterprises. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 791. Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/791/1/012040>
3. Бурганов Р.А. Учет всех форм потребленной энергии в экономическом анализе как требование времени // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2020. – Т. 19, № 1. – С. 143 – 151. <https://doi.org/10.24891/ea.19.> .

Бушуев А.С., н. рук. Рахимова Ю. И.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЧАСТНОГО ДОМА В Г. ЕВПАТОРИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Аннотация: рассматривается проблема и перспективы развития малоэтажного жилищного строительства с применением нетрадиционных источников энергии. Выбран оптимальный источник энергии – солнечные батареи. Рассчитана экономия от внедрения данного мероприятия. Результаты исследования могут быть использованы при разработке проектов нового строительства, энергетической реконструкции и капитальном ремонте жилищного фонда.

Ключевые слова: энергозатраты, возобновляемые источники энергии, энергоэффективный дом, теплопотери, газобетон, солнечные батареи, инвертор.

Вопрос об использовании нетрадиционных и возобновляемых источниках энергии остаётся наиболее актуальным в настоящее время. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) имеют неоспоримые преимущества: возобновляемая энергетика основывается на различных природных ресурсах, что сберегает невозобновляемые источники энергии; ВИЭ экологически чисты; а также они неисчерпаемы. Работа возобновляемых источников особенно актуальна в районах страны, которые не имеют своих топливно-энергетических ресурсов. В России похожим регионом является Республика Крым.

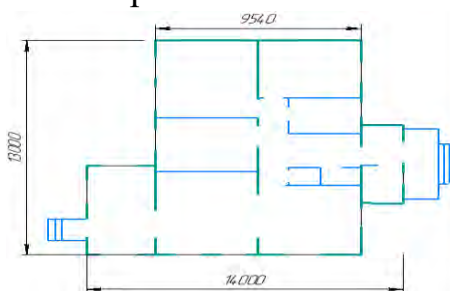


Рис.1. Планировка дома

Массовое строительство энергоэффективных домов является одним из решений развития альтернативной энергетики. Энергоэффективный дом – это обычное жилое здание, в котором тепловые потери сведены к минимуму и составляют примерно 10 кВт*ч с 1 м² отапливаемого пространства в год, что примерно в 20 раз меньше чем в обычном доме. Энергия на обогрев здания и на освещение по возможности должна вырабатываться с помощью возобновляемых источников энергии. [1]

Для строительства запланирован одноэтажный (рис.1) дом 13*14 м. В доме будут располагаться 3 комнаты, кухня гостиная с выходом на террасу, а также прихожая и небольшой коридор для сообщения между комнатами.

Строительство внутренних и наружных стен будет вестись из газобетонных блоков. Этот материал имеет много преимуществ по сравнению с остальными: газобетон обладает лучшей теплоизоляцией; обладает низкими теплопроводными свойствами; кладка блоков производится в 2 раза быстрее кирпичной; эти блоки производят из экологически безопасных материалов.

В связи с ростом тарифов на тепловую и электрическую энергию, альтернативные источники энергии набирают все большую популярность. Самым доступным стали солнечные батареи, предназначенные для преобразования солнечной энергии в электричество или тепло. Работа данных устройств построена на действии фотоэлементов – при воздействии света между двумя полупроводниками возникает электрический ток. Они генерируют постоянный ток. Энергия может накапливаться на специальных аккумуляторных батареях или преобразовываться в переменный ток напряжением 220 В.

Для снабжения дома электричеством используется автономная система энергоснабжения, которая включает в себя следующие компоненты: солнечные батареи; инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный; аккумуляторную батарею для накопления энергии и сглаживания перепадов.

Таким образом, очевидны преимущества солнечных батарей: длительный срок службы (25 лет и более); независимость от технических неполадок энергопоставляющей организации; низкая вероятность выхода солнечной батареи из строя; отсутствие необходимости в постоянном обслуживании.

Что касается недостатков данной системы электроснабжения, то они все-таки есть, и довольно весомые. Например, такие как: высокая стоимость и соответственно длительный срок эксплуатации; невозможность использования для мощных потребителей электроэнергии.

Для того, чтобы подсчитать количество солнечных батарей, необходимых для обеспечения электроэнергией дома (на 1 семью), нужно:

1. Рассчитать количество потребляемой электроэнергии в среднем за год на 1 семью:

$$P_{\Pi} = P_{\text{м}} \times 12 = 178 \times 12 = 2136 \text{ кВт} \times \text{ч},$$

где $P_{\text{м}}$ – количество электроэнергии, потребляемой за месяц, кВт*ч (табл. 1).

Средний расход электроэнергии на 1 семью

Таблица 1

Потребители	Мощность, кВт	Кол-во	Среднесуточное время работы ч/сут.	Расход за месяц
Холодильник	1	1	2 (с уч. пауз)	60
Телевизор	0,08	1	5	12
Стиральная машина	1,5	1	0,57 (4ч в нед.)	26
Компьютер	0,15	1	3	14
Пылесос	0,8	1	0,14 (1ч в нед.)	3
Утюг	1	1	0,29 (2ч в нед.)	9
Освещение	0,06	10	3	54
Итого				178

2. Рассчитаем выработку электроэнергии одной солнечной батареей в год:

По карте инсоляции России определим продолжительность солнечного сияния в год. Для нашего региона оно примерно равно 2200 часов в год, разделим это число на 365 дней в году, то получим 6 часов в день.

$$P_c = P_{об} \times 6 \times 365 = 0,175 \times 6 \times 365 = 383,25 \text{ кВт},$$

где $P_{об}$ – количество электроэнергии, вырабатываемое одной солнечной батареей за 1 час равно 0,175 кВт × ч; 6 – количество часов солнечного сияния в день; 365 – количество дней в году;

3. Необходимое количество электроэнергии, которое необходимо выделить солнечными батареями за год для обеспечения электроэнергией семью равно 2136 кВт × ч.

4. Далее определим количество солнечных батарей, необходимых для обеспечения электроэнергией дома.

$$n = \frac{P_n}{P_c} = \frac{2136}{383,25} = 5,67 \approx 6 \text{ шт.}$$

В результате расчёта принят следующий фотоэлектрический комплект из: фотоэлектрического модуля мощностью 175 Вт 24В в количестве 6 штук; 12 герметичных аккумуляторных батарей емкостью 100 А*ч и напряжением 12 В; 1 инвертор мощностью 1 кВт, входное напряжение 24 В, выходное 220 В; 1 контроллер ЕРНС 12/24В 10А. [2]

Месячное энергопотребление для семьи из трех человек составляет 350 кВт*ч, часть нагрузки мы подключим к солнечным батареям которая соответствует 178 кВт*ч. Стоимость электроэнергии в год без использования солнечных батарей составит 16000 руб. При использовании солнечных батарей удастся сэкономить примерно 8200 руб. Экономия в 2 раза является довольно существенным преимуществом.

Энергопотребление в домах в России составляет 300-350 кВт*ч/ год на 1 м². В 2020 – 2021 годах этот показатель планируется снизить при-

мерно на 40%. Практика строительства энергоэффективных домов показывает значительно лучшие результаты, однако внедрение новых технологий строительства жилья нуждается в поддержке органов власти. Если данному вопросу будет уделяться внимание, то проектирование энергоэффективных домов будет пользоваться ещё большей популярностью.

Список использованной литературы

1. Солнечная энергетика/В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 276с.
2. Индивидуальные солнечные установки Харченко Н.В. Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.

Ващенко С.С.¹, Тюрин И.В.¹.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕЛИОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
(г. Тамбов)

Аннотация. Рассматриваются аспекты проектирования гелиосистем с использованием глобальных метеорологических баз данных. Рассматриваются различные способы преобразования солнечной энергии и источники данных для проведения анализа и расчетов для создания требуемой системы.

Ключевые слова: солнечная энергия, база данных, гелиосистема.

В настоящее время вопрос альтернативных источников энергии для человечества занимает лидирующее место по актуальности. Ежегодно добывается и перерабатывается астрономическое количество угля, нефти и газа. Но на сколько лет миру хватит природных ресурсов, которые с каждым годом добываются всё в большем и большем объеме? В современном мире все большее количество людей и государств в целом обращают свое внимание на альтернативные источники энергии.

Одним из видов альтернативных источников энергии является энергия солнца. Солнечная энергетика - направление энергетики, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Солнце является неисчерпаемым источником экологически чистой энергии, то есть не производящей никаких вредных отходов и не наносит вред окружающей среде.

Солнечную энергию можно преобразовать в электрическую или тепловую. Для этого используются различные разновидности гелиосистем. Гелиосистема - это совокупность технических устройств, предназначенных для преобразования энергии солнечных лучей в электрическую или тепловую энергию. В состав комплекса входит приемное устройство, в роли которого могут выступать солнечные батареи и коллекторы и устройства, обеспечивающие работу системы, такие как контроллер, инвертор, теплообменник или аккумуляторная батарея. Принцип действия можно сформулировать таким образом:

1) Электрическую энергию можно получить с помощью использования фотоэлектрических элементов, которые выступают в роли приемников солнечных лучей.

2) Тепловая энергия образуется путем преобразования солнечной энергии с использованием различных коллекторов. Солнечные лучи нагревают теплоноситель, циркулирующий в солнечном коллекторе, с последующей передачей полученного тепла в систему отопления или горячего водоснабжения.[4].

К примеру, в гелиосистему для обеспечения горячего водоснабжения и отопления будет входить: солнечный коллектор, насосная станция, бойлер, расширительный бак, датчики и трубопроводы. Холодная вода из бака накопителя по трубопроводу через насосную станцию, оснащенную контроллером для регулировки работы комплекса в автоматическом режиме, поступает в коллектор, который под действием солнечных лучей преобразует их в тепловую энергию для нагрева воды. На выходе коллектора по другому трубопроводу горячая вода через насосную станцию возвращается в бак накопителя. Расширительный бак используется для обеспечения нормального режима работы системы. В гелиосистеме используются датчики давления и температуры для получения точной информации о температуре и давлении воды в коллекторе и накопителе на данный момент времени.

Работа гелиосистемы зависит от множества параметров, которые существенно влияют на работу всей системы. Например, размеры солнечного коллектора, требования, предъявляемые к данной системе, территориальное расположение, в котором используется гелиосистема, погодные условия, время года, а также интенсивность солнечной радиации в течение дня. В России расчётные значения суммарной, прямой и рассеянной солнечной радиации принимаются по справочникам [1, 2]. Справочники содержат информацию по часовым, месячным и годовым значениям прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации, продолжительности солнечного сияния для всех регионов России со сроками наблюдения от пяти до 30 лет. Данные справочники обладают рядом недостатков: ограниченным тиражом, табличной формой предоставления информации, малое число пунктов наблюдения для сбора данных, отсутствие некоторых характеристик и необходимость пополнения информации с 1990 года.

На данный момент существует несколько всемирных баз данных, которые лишены многих недостатков своих бумажных предшественников. К примеру, всемирная база данных NASAPOWER (NASA Prediction Of World wide Energy Resources), которая содержит метеорологические и связанные с солнечной энергией параметры и позволяет получать доступ к ежедневным усредненным данным (рис. 1)[3].

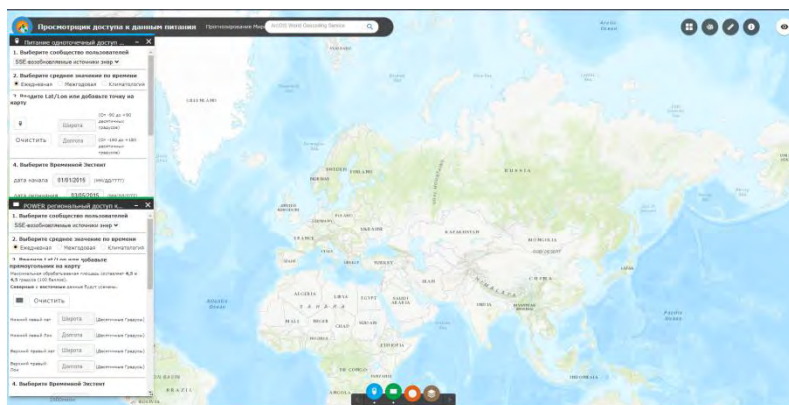


Рис.1. Всемирная база данных NASAPOWER

На рис. 1. показано главное окно базы данных. Оно представляет собой интерактивную карту земного шара и обладает определенным количеством инструментов для получения требуемой информации. База предоставляет возможность получения данных в различных форматах выходных файлов, таких как ASCII, CSV, Geo JSON и Net CDF. Данная возможность упрощает использование данных для работы в других программах и системах, исключая необходимость переписывания и создания таблиц параметров вручную. Выбрав нужную область или место, период времени, формат выходных данных и интересующие параметры платформа предоставляет для скачивания файл, содержащий требуемые показатели как показано на рис. 2[3].

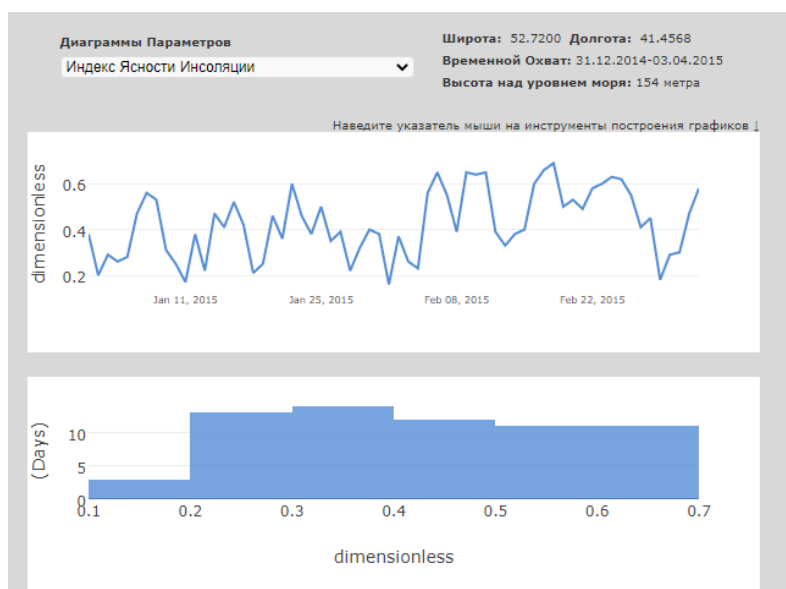


Рис.2. Отчет выходных данных

В качестве объекта исследования выступил учебный корпус Тамбовского государственного технического университета, система автоматически заполняет информацию о широте и долготе в отчет. Был выбран

период охват: 31.12.2014-03.04.2015. И был выбран параметр индекс ясности инсоляции, который представлен графиком выбранного промежутка времени (период охвата усредненных данных с 31.12.2014 по 03.04.2015). Формат выходных данных – Geo JSON.

Таким образом, благодаря современным всемирным базам метеорологических данных проектирование систем альтернативной электроэнергетики становится гораздо доступнее и проще.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-08-00555-а

Список используемой литературы

1. Справочник по климату СССР. Ч. 1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. — Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1966.
2. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1. Вып. 13. Солнечная радиация и солнечное сияние. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990.
3. Официальный сайт NASA «POWER DataAccessViewer» [Электронный ресурс]. – URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения: 20.10.2020).
4. Бутузов В.А., Бутузов В.В. Использование солнечной энергии для производства тепловой энергии. Справ.-метод. изд. — М.: Интехэнерго-Издат / Теплоэнергетик, 2015.
5. Валов М.И., Казанджан Б.И. Системы солнечного теплоснабжения. — М.: Изд-во МЭИ, 1991.

ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА НАВИГАЦИИ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов),

Аннотация: в данной работе рассмотрена структура интерактивной системы навигации для механического транспорта, описаны возможная конфигурация системы навигации, применимая для современного транспорта.

Ключевые слова: Навигационная система, сканер окружающей среды, картографические данные

С каждым днем различные системы навигации все больше используются в различных отраслях, связанных с транспортом и логистикой. Это связано с большим количеством частного, коммерческого и иного транспорта на дорогах нашей страны. Устройство отображения картографических данных используется в навигационном устройстве транспортного средства, которое имеет устройство преобразования данных для записи картографических данных в соответствии с картой, которая начинается с точки обзора и для перспективного проецирования точек данных карты на плоскость просмотра, которая закреплена перпендикулярно линии просмотра и находится на предварительно определенном расстоянии от точки обзора, чтобы генерировать данные отображения карты. Это обеспечивает вид на окрестности с высоты птичьего полета.

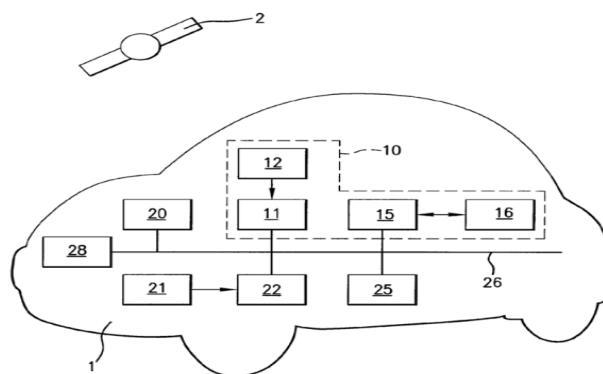


Рис. 1. Иллюстрация примерного варианта осуществления автомобиля.

Рисунок 1 схематично иллюстрирует примерный вариант осуществления автомобиля. Транспортное средство 1 включает в себя дисплей и устройство 16 управления, а также дисплей и устройство 15 управления

для управления дисплеем и устройством управления 16. Транспортное средство 1 также включает в себя модуль навигации 11, который подключен к антенне 12 для приема элементов информации, передаваемых со спутника 2. Навигационный модуль 11 подключен к дисплею и управлению 15 через шинную систему 26. Антенна 12 и навигационный модуль 11 вместе с дисплеем и операционным управлением 15, а также устройство 16 отображения и управления образуют навигационную систему 10. Кроме того, автомобиль 1 включает в себя интерфейс 20 передачи изображений, с помощью которого файлы данных изображений геокодируются и могут считываться. Интерфейс 20 передачи изображений может быть, например, считывателем SD или включать в себя его. В качестве альтернативы или в дополнение интерфейс 20 передачи изображений может быть выполнен в виде интерфейса USB, интерфейса Wi-Fi, интерфейса Bluetooth, интерфейса сотового телефона и т. Д. Интерфейс 20 передачи изображений может быть подключен к навигационному модулю 11 через шинную систему 26 [1]. Также возможно, чтобы интерфейс 20 передачи изображений был соединен с навигационным модулем 11 для передачи данных альтернативным способом и / или мог быть частью навигационной системы 10. Дополнительные модули 25, такие как система климат-контроля, телефон и прочее.

В навигационной системе согласно примерному варианту осуществления настоящего изобретения, например, для автомобиля, для определения маршрута от местоположения навигационной системы до пункта назначения навигационная система включает в себя устройство вывода для вывода маршрута и / или указание направления, которое соответствует маршруту, а также устройство ввода для ввода точки назначения, и графика или изображения выбираемых точек назначения могут быть представлены для ввода точки назначения.

На рисунке 2 показан способ функционирования навигационного модуля 11 или навигационной системы 10. В дополнение к элементам управления, таким как кнопочные переключатели и поворотные кнопки, устройство 16 отображения и управления включает в себя дисплей 50, над которым расположен сенсорный экран. Для ввода пункта назначения оператору или пользователю транспортного средства 1 или навигационной системы 10 предлагается выбор 51 графических изображений или изображений вводимых пунктов назначения. Чтобы предоставить возможность вызова дополнительных выбираемых изображений или точек назначения, кнопки прокрутки 51А и 51В отображаются на дисплее [2].

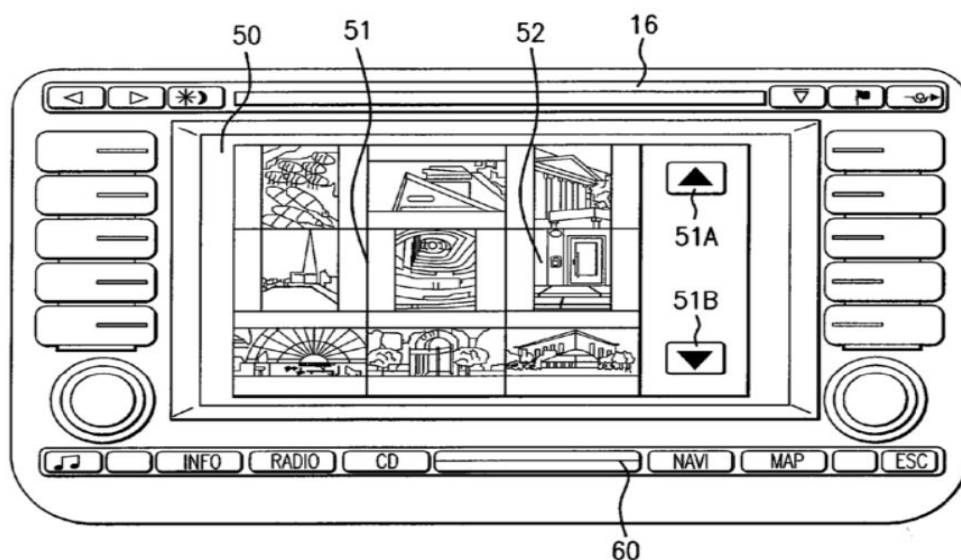


Рис. 2. Устройство отображения и управления.

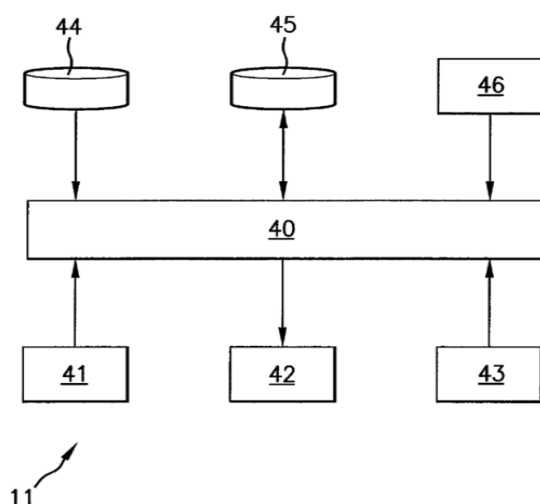


Рис. 3. вариант осуществления навигационного модуля.

Рисунок 3 иллюстрирует примерный вариант осуществления навигационного модуля 11. Навигационный модуль 11 включает в себя алгоритм 40 навигации для определения местоположения автомобиля 1 в зависимости от сигналов, полученных от антенны 12, или в зависимости от элементов информации, которые считываются через интерфейс 46 и для определения маршрута от этого местоположения до пункта назначения ввода. Для этой цели алгоритм 40 навигации обращается к атласу 44 маршрута. Входы в алгоритм 40 навигации выполняются через интерфейс 41, а выходы - через интерфейс 42[3]. Кроме того, предоставляется интерфейс 43 (API анализатора тегов EXIF) для чтения файлов данных геокодированного изображения. Файлы данных геокодированно-

го изображения, считанные таким образом, могут быть сохранены, например, в памяти 45.

Список используемых источников

1. Muromtzev, D., Chernyshov, N. Features of creation of power saving control systems on set operation conditions. Allerton Press, Inc., New York/Automatic Control and Computer Sciences. 2008.-Volume 42, Number 3, p.163-168.
2. Чернышов Н.Г. Система управления удалёнными динамическими объектами с использованием принципов когнитивной графики/ Н.Г. Чернышов, О.А. Белоусов// Автоматизация и современные технологии.- 2010. - №7.- С. 28-33.
3. Чернышов Н.Г., Дворецкий С.И. Разработка систем оптимального управления энергоёмкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee/ Радиотехника. 2013. № 9. С. 87-97.

Дмитриевцев А.Ю.

АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ В СОСТАВЕ SMART АНТЕННЫХ СИСТЕМ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Аннотация: Рассмотрены основные типы SMART антенн, приведены основные достоинства, применения адаптивных антенных решеток.

Ключевые слова (на русском языке): SMART системы, адаптивные AP

В последние десятилетия XX века и начале XXI века беспроводные телекоммуникационные сети передачи информации проходят фазу бурного развития. Это развитие обусловлено интенсивным развитием методов кодирования и модуляции информации, которые стали возможны благодаря развитию технической базы беспроводных сетей, которая позволила реализовать новые методы передачи информации. Все эти факторы позволили беспроводным сетям занять лидирующие позиции в сфере телекоммуникационных услуг [1].

Для обеспечения требуемых показателей качества связи используют сложные комплексы систем передачи данных, в которые входят устройства передачи, обработки, фильтрации, усиления сигнала. Управление такими системами осуществляется с помощью различных алгоритмов, которые могут быть реализованы различными способами.

Одним из таких комплексов, являются SMART антенны.

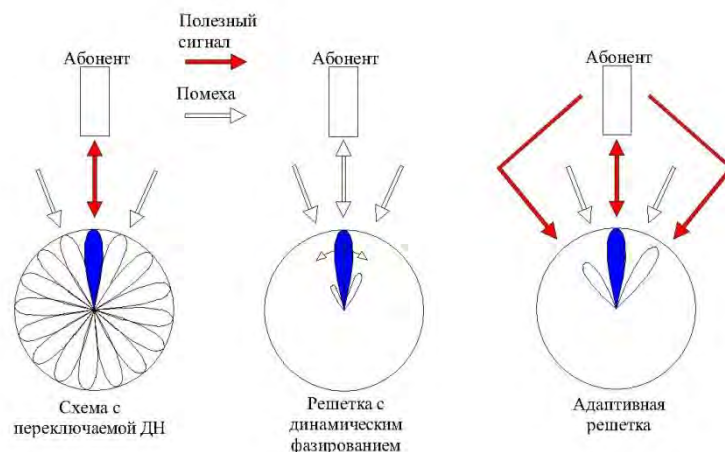


Рисунок 1 – Различные схемы SMART антенных систем

SMART антенна – это одна из разновидностей секторных антенн, основной функцией которых является передача сигнала базовой станции. Особенность таких антенн заключается в возможности изменения диаграммы направленности, оставляя неизменными свои геометрические размеры и параметры, благодаря особой структуре антенной решетки (АР). Существует два основных типа таких антенн: адаптивная и переключающаяся [2].

Переключающаяся антенна, представляет собой несколько антенн, направленных в различных направлениях. Благодаря этому при подключении абонента к базовой станции, включается та антенна, которая направлена на абонента. Остальные антенны в этот момент неактивны, их включение происходит при изменении координат подключенного абонента, либо при появлении нового. Такая антенна может формировать различное количество лучей в форме игл, но их количество ограничено числом излучателей, и не может быть больше.

Адаптивная антенна – это антенная решетка (АР) основной возможностью которой является мгновенный синтез лучей в произвольных направлениях. Данная особенность позволяет такому типу антенн «следовать» за абонентом, который подключен к этой сети [3].

Обобщенная структурная схема представлена на рисунке 2, в ее состав входят диаграммообразующая схема (ДОС), устройство, отвесающее за реализацию алгоритмов управления (УРАУ), и устройство измерения параметров сигнала (УИС), N_a – количество умножителей сигналов, x_i – весовой множитель, $z(t)$ – выходной сигнал [4].

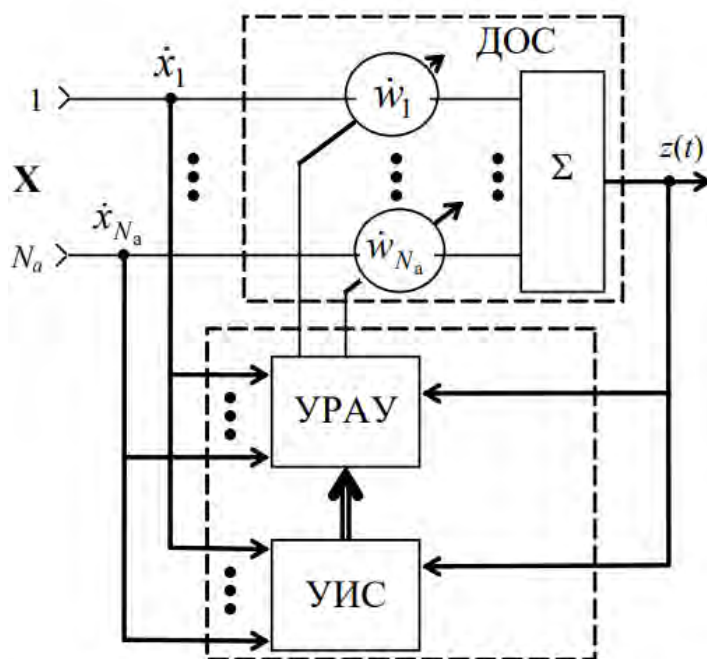


Рисунок 2 – Обобщенная структурная схема

Основным плюсом применения SMART антенн в сетях беспроводного широкополосного доступа, является снижение потребляемой и излучаемой мощности, это происходит благодаря тому, что на формирование и излучение одного или нескольких лучей требуется гораздо меньше энергии. Так же улучшается и качество сигнала, передаваемого пользователю, так как в каждой ситуации формируется индивидуальный луч, благодаря чему, вне зависимости от места нахождения абонента в зоне покрытия, ему будет поставляться сигнал с мощностью, достаточной для того чтобы обеспечить хороший уровень сигнала.

Для обеспечения постоянного отслеживания полезных сигналов, а так помеховых и переотраженных и определения местоположения сигнала абонента, применяются сложные вычислительные алгоритмы. При формировании адаптивного луча используется в основном два метода. В первом методе используется принцип, по которому предполагается, что часть сигнала, передаваемого абонентом, уже известна из-за использования надстроечной последовательности. В дальнейшем, происходит сравнение принятого и принимаемого сигнала, с дальнейшей корректировкой весов, данная операция выполняется для снижения среднеквадратичной ошибки между заведомо известным, и принимаемым сигналом. Благодаря этому производится настройка диаграммы направленности, для усиления основного луча, а также для снижения уровня помеховых сигналов [5].

Суть второго метода, заключается в определении всех сигналов и их направлений, которые принимаются адаптивной AP. Затем производится корректирование комплексных весов, что позволяет добиться максимального уровня сигнала в направлении абонента, и минимального уровня в направлении помех. Но на практике данный метод часто не эффективен, например, в случае большого количества источников излучения, такое может произойти в результате переотражения сигналов. В итоге появляется большая вероятность нестабильности в работе алгоритмах обнаружения сигналов. Вероятность этого выше для сред не прямой видимости, характеризующихся наличием рассеивающих неоднородностей в непосредственной близости с пользовательскими устройствами и передающей станцией, что ведет к увеличению угла прихода электромагнитных волн [6].

Адаптивные антенные решетки являются оптимальным выбором при использовании их в SMART системах для сетей беспроводного широкополосного доступа, так как они могут обеспечить большую зону покрытия с устойчивым сигналом, имеют большую пропускную способность, и низкий уровень помех, что положительно сказывается на предоставлении контента конечным пользователям.

Список используемых источников

1. Братчиков А.Н., Васин В.И., Василенко О.О. и др. Активные фазированные антенные решетки / Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004. - 488 с.
2. Бененсон Л.С., Журавлев В.А., Попов С.В., Постнов Г.А. Антенные решетки: методы расчета и проектирования / Обзор зарубежных работ под ред. Л.С. Бененсона. – М.: Советское радио, 1966. - 367 с.
3. Белоусов О.А., Рязанов Е.В., Колмыкова А.С., Дякин А.И. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны // Журнал «Программные продукты и системы», 2018. №4 С.757-762
4. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. М.: Радиотехника, 2012.–744 с.
5. L. Josefsson and P. Persson, Conformal Array Antenna Theory and Design, IEEE (New York: Wiley, 2006).
6. A. Alu, F. Bilotti, and L. Vegni, “Method of Lines Analysis of Conformal Antennas,” IEEE Trans. Ant. Propagat., vol. 52 (June 2004).

Дмитриевцев А.Ю., Макрам О.Г.О.М.

АНТЕННАЯ РЕШЕТКА НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов),

Аннотация: в данной работе рассмотрена структура адаптивных систем и основные их типы, описаны возможные конфигурации антенных решеток, применяемых в адаптивных системах, а также промоделирована адаптивная антенная решетка на основе сверхширокополосных излучателей, с обоснованием полученных результатов моделирования.

Ключевые слова: Адаптивная антенная решетка, сверхширокополосный излучатель, кольцевая антенная решетка.

С каждым днем антенные решетки все больше используются в различных системах, все сильнее вытесняя простые антенны. Это связано с большим количеством преимуществ, по сравнению с простыми антеннами. Одним из таких достоинств, является возможность управления главным лучом диаграммы направленности, в то время как геометрические параметры антенной решетки остаются неизменными [1].

Еще одним достоинством АР является возможность изменять значения сигнал/шум, этот достигается в случае, если полезный сигнал и помехи имеют схожую полосу частот, а при использовании адаптивных систем, в антенной решетке можно создавать от одного до нескольких остронаправленных лучей, что позволяет довольно точно формировать каналы связи [2].

Рассмотрим адаптивную антенную решетку с коммутацией луча [3].

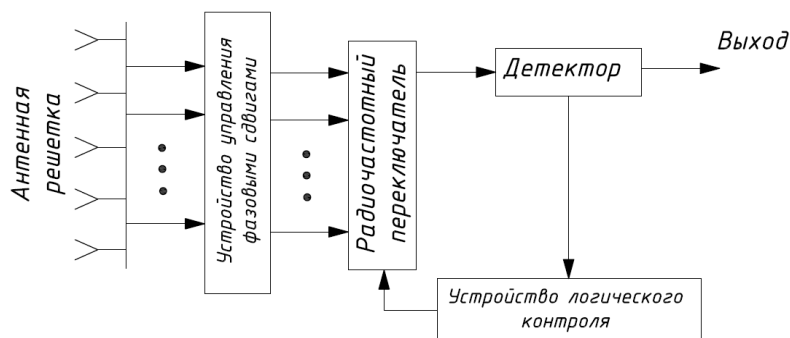


Рис. 1. Антенны с коммутируемым лучом, структурная схема

На рисунке 1 представлена упрощенная структурная схема антенны, с коммутируемым лучом (АКЛ) [4].

На матрице Батлера организован главный элемент данного устройства, а именно, устройство, реализующее фазовые сдвиги. Данная матрица представляется в виде линейной схемы с пассивным питанием, состоящая из $N \times N$ элементов. В качестве излучающей конструкции используется фазированная антенная решетка (ФАР). Все излучатели, с помощью фидерных цепей, соединяются с источниками и приемниками сигнала. Благодаря данному методу, возможно реализовать быстрое пространственное преобразование Фурье, и N – количество ортогональных диаграмм направленности.

Данная антенна формирует многолучевую диаграмму направленности, с достаточно узким угловым сектором каждого луча, благодаря использованию излучателей с узкой диаграммой направленности, это позволяет более точно производить настройку на абонента. На данном типе разбиения на угловые сектора основываются секторные антенны, но их главное отличие состоит в том, что распределение излучаемой мощности в рабочем режиме на антенне с коммутируемым лучом не одинаково, и их ширина намного меньше, чем у секторных антенн, а переключение происходит с помощью специального устройства, которое выбирает направление луча по направлению сигнала, который пришел с максимальной мощностью [5].

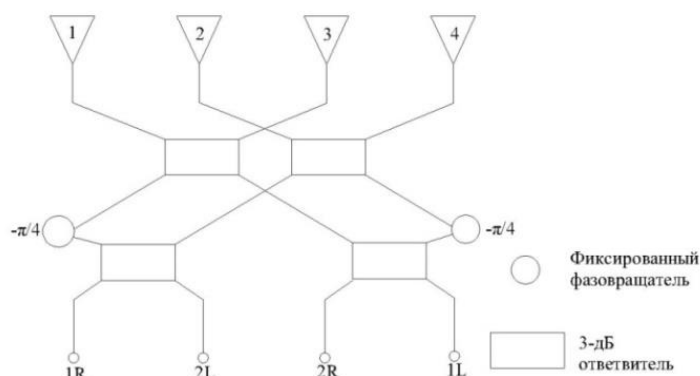


Рис. 2. Диаграмма Батлера 4×4 в схематичном виде

Зона покрытия антенных решеток напрямую зависит, как от формы АР, так и от количества используемых в ней излучателей.

Возбуждение излучателей при остронаправленном излучении обеспечивает синфазное сложение полей в заданном направлении и зависит от положения излучателя в решетке.

Еще одним типом АР с большой площадью покрытия сигнала, является кольцевая АР.

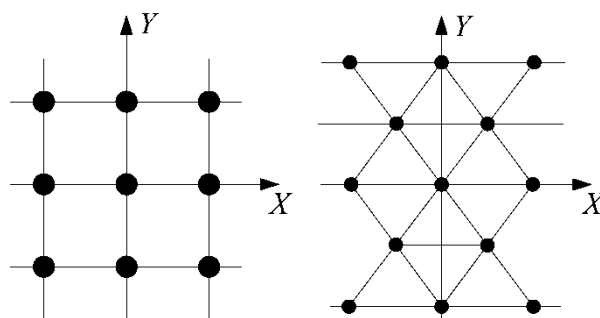


Рис. 3. Основные типы антенных решеток

Для формирования луча в заданном направлении θ_0, φ_0 на излучающем участке цилиндрической ФАР необходимо создать такое фазовое рас-пределение, при котором поля, излученные каждым излучателем, складываются в указанном направлении синфазно.

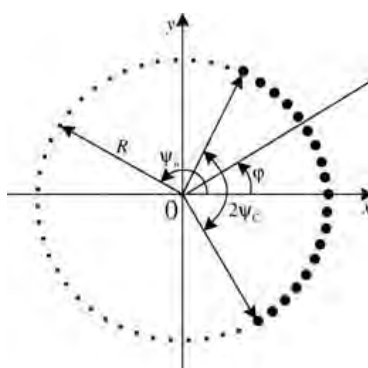


Рис. 4. Кольцевая антенная решетка

В частности, для кольцевой решетки, расположенной в плоскости $z = 0$.

Проведем моделирование кольцевой адаптивной антенной решетки, на основе сверхширокополосных микрополосковых излучателей.



Рис.5. Кольцевая адаптивная антенная решетка, и ее диаграмма направленности

При использовании в данной адаптивной АР метода изменения диаграммы направленности с помощью коммутации луча можно получить

хорошее качество сигнала, передаваемого пользователю, так как при нахождении абонента в зоне покрытия сигнала, создается устойчивый канал связи.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что данная адаптивная антенная решетка является оптимальным выбором при использовании их в сетях беспроводного широкополосного доступа, так как она обеспечивает большую зону покрытия с устойчивым сигналом, и низким уровнем помех, а благодаря использованию излучателей с экспоненциальным раскрытием щели можно добиться хороших массогабаритных характеристик.

Список используемых источников

1. Братчиков А.Н., Васин В.И., Василенко О.О. и др. Активные фазированные антенные решетки / Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004. - 488 с.
2. Зелкин Е.Г., Соколов В.Г. Методы синтеза антенн. - М.: Сов. радио. - 1980. - 296 с.
3. Белоусов О.А., Рязанов Е.В., Колмыкова А.С., Дякин А.И. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны // Журнал «Программные продукты и системы», 2018. №4 С.757-762
4. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. М.: Радиотехника, 2012.–744 с.
5. L. Josefsson and P. Persson, Conformal Array Antenna Theory and Design, IEEE (New York: Wiley, 2006).

Зебрева М.М.¹, Зырянов Ю.Т.², Шепелёв Н.И.²

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В РОССИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ, В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, БИЗНЕСЕ, БЫТУ. ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ

¹*ФГАОУВО «Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ» (г. Москва),*
²*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный
технический университет» (г. Тамбов)*

***Аннотация:** в статье представлены преимущества цифровизации в промышленности, системах связи. Проанализированы ее достоинства и недостатки.*

***Ключевые слова:** цифровизация, интернет вещей, информационные системы.*

Цифровизация – процесс внедрения цифровых систем передачи (ЦСП) данных на уровне первичных сетей, средств коммутации и управления, обеспечивающих передачу и распределение потоков информации в цифровом виде на уровне вторичных сетей.

Преимущества цифровизации: делает производство более гибким, конкурентоспособным, а значит, более прибыльным; цифровые технологии обеспечивают оперативное получение информации о продукции для принятия решения на всех этапах жизненного цикла - от разработки до технического обслуживания, что позволяет административно-управленческому персоналу (АУП) быстрее и эффективнее решать задачи оптимизации техпроцесса, качества, безопасности и операционной эффективности, выхода на рынок, и создания новых бизнес-возможностей.

Цифровизация отлично коррелируется с промышленным интернетом вещей (ПИВ, Industrial Internet of Things, IIoT).

ПИВ - многоуровневая система, в состав которой входят:

- контрольно-измерительные приборы и автоматика (КИПиА), установленные на узлах и агрегатах предприятия:
- средства передачи собираемых данных и их визуализации;
- компьютеризация всех рабочих мест на предприятии,
- объединенные в единую информационную сеть парк оборудования и рабочих мест;

- аналитические инструменты автоматической интерпретации получаемой информации по интернет - протоколу, в т.ч., минуя человека-оператора, для повышения эффективности или предотвращения нештатных ситуаций.

Цифровизация применяется в настоящее время: в быту; на производстве; на работе; в государственных структурах; в бизнесе.

Примерами бытовой цифровизации можно считать системы вроде «умного» дома, обычная мультиварка с управлением по Wi-Fi, сигнализация (специальный датчик следит за наличием в квартире посторонних, и в случае их обнаружения сигнализирует на пульт дежурному), системы, блокирующие выходы из помещения в случае вторжения и т.д.

Производственная цифровизация занимается сокращением монотонного физического труда для человека, организывает и контролирует трудовые и производственные процессы и обеспечивает безопасность сотрудников компании. Система видеоаналитики замечает, что сотрудник нарушил технику безопасности, передается сообщение дежурному мастеру. Поданный сигнал может спасти человеку жизнь. «Умные» системы при помощи машинного зрения выявляют бракованные детали. Такие же системы применяются в непромышленных компаниях и в маленьких офисах.

Государство внедряет систему анализа данных и уже эффективно использует. Например, в исполнительной власти – розыск преступников с использованием онлайн камер на улицах или возможность отправить обращение в нужные инстанции по интернету. Справки и паспорта можно заказывать через приложение, там же хранить и обновлять все данные.

В промышленности цифровизация компаний позволяет вывести на качественно новый уровень ряд процессов: проектирование; производство; управление предприятием. Цифровые алгоритмы могут взять на себя выполнение, как простых повторяющихся операций, так и решение сложных задач. Технологии позволяют полностью перестроить современное производство, решая целый спектр важных задач: ускоренная обработка информации; улучшение клиентского опыта; повышение гибкости бизнес-процессов.

Любая цифровизация начинается с открытия и сбора данных. Для того, чтобы система работала четко, необходимо собрать как можно больше информации. Специальная программа анализирует полученные данные и выдает оптимальный результат. Информационные системы могут оперировать исключительно фактической информацией, а могут и строить предположения, используя искусственный интеллект (ИИ). Например, голосовые помощники Сири и Алиса могут ответить на кон-

кретный вопрос и ведут философские беседы с пользователем. Развитие цифровизации идет и продолжит идти по 4 основным направлениям:

- Роботизированная автоматизация процессов (RPA).
- Интеллектуальная автоматизация с привлечением ИИ.
- Углубленная аналитика и большие данные (Deep Learning and Big Data).
- Новые средства бизнес-моделирования, имитационное моделирование.

Передача цифровых данных при помощи специальных модемов через существующие аналоговые системы: специальные модемы для аналоговых систем передачи включаются вместо первичной группы системы К60. По полученному цифровому каналу связи можно передавать цифровые данные: Ethernet, E1, V.35 со скоростями до 320кбит/с.

Недостатки метода: для достижения скорости в 320кбит/с необходимо содержать систему К60 в идеальном состоянии, что затруднительно из-за устаревшего оборудования и перепадов температуры на узлах связи, надежность такой цифровой линии не может быть выше надежности самой аналоговой системы передачи; большая задержка передачи данных - до 1с; большая стоимость модемов; низкая скорость передачи данных; невозможно организовать управление всем оборудованием из единого центра, следовательно, требуется большое количество обслуживающего персонала.

Применение волоконно-оптических каналов связи. С точки зрения получаемых возможностей это бесспорно наилучшая технология цифровизации аналоговых систем передачи. Аналоговая система демонтируется и вместо нее строятся цифровые волоконно-оптические каналы связи. Нужно заметить, что стоимость такой цифровизации тоже поражает воображение, вследствие чего она не доступна даже крупным нефтегазовым компаниям.

Для цифровизации радиорелейных линий связи нужно решить задачи: получить частоты; построить вышки через каждые 30-50км; очень желательно обеспечить прямую видимость.

Преимущества: большая скорость передачи и низкая задержка, относительно небольшая стоимость при наличии вышек. Недостаток: слишком много согласований и, следовательно, большой срок внедрения. Если вышки придется строить, то опять все выходит слишком дорого.

Для цифровизации возможно использование существующих медных кабелей с применением технологии SHDSL, тогда медные кабели последовательно отключаются от системы связи К-60П и подключаются к

SHDSL модемам. Заданное время обе системы: цифровая и аналоговая, могут существовать одновременно, не мешая друг другу.

Характеристики цифровизованной системы: скорость передачи данных по одной витой паре, при использовании магистрального кабеля сечением 1.2мм и расстоянии между не обслуживаемыми регенерационными пунктами до 20км, составит от 2 до 3Мбит/с; скорость передачи увеличивается пропорционально количеству незадействованных медных пар; расстояние между узлами связи, имеющими стационарный источник питания - до 180км; задержка передачи данных составит 1мс на каждые 20км. Преимущества: быстрая цифровизация с низкими затратами без изменения существующей инфраструктуры.

Список использованной литературы

1. Энергетика, приборостроение и радиоэлектроника : сборник научных статей магистрантов / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Т. И. Чернышовой. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020.
2. Чернышов, В.Н., Чернышова, Т.И. Микроволновые методы и системы контроля теплофизических характеристик материалов и изделий. Монография. Тамбов. Издательство ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2015

Казьмин А.И., Федюнин П.А., Рябов Д.А.

КОНТРОЛЬ СТЕПЕНИ ОТСЛОЕНИЯ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

*ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
(г. Воронеж)*

Представлены результаты исследования, подтверждающие высокую эффективность применения поверхностных электромагнитных волн СВЧ диапазона для оценки величины отслоения радиопоглощающих покрытий от металлического основания.

***Ключевые слова:** радиопоглощающее покрытие, отслоение, обратная задача, метод поперечного резонанса, коэффициент ослабления поля поверхностной электромагнитной волны,*

Эффективно реализовать свойства радиопоглощающих покрытий (РПП) можно только при строгом соблюдении технологических режимов и допусков при их нанесении. При недостаточной адгезии в ходе эксплуатации высокие внутренние напряжения приводят к отслоениям РПП, что приводит к увеличению эффективной поверхности рассеяния образца вооружения, военной и специальной техники и снижению его боевых возможностей [1].

Рассмотрим особенности применения многочастотного метода поверхностных электромагнитных волн (ПЭМВ) для случая оценки величины отслоения \hat{d} однослойных РПП, от металлического основания. Метод основан на минимизации целевой функции, построенной по невязке между экспериментальными и вычисленными коэффициентами ослабления поля ПЭМВ на наборе частот $f_k, k=1, 2, \dots, L$.

На рис. 1 приведена геометрия однослойного РПП размещенного на металлической подложке. При этом учитывается, что в данной структуре может присутствовать протяженный дефект в виде воздушного отслоения толщиной d . Появление в РПП на металлической подложке протяженного дефекта в виде отслоения (длина отслоения в продольном направлении $1/3\lambda$ и более) можно представить, как появление в системе «дополнительного слоя» с отличными от основного покрытия свойствами и рассматривать его как двухслойное покрытие «отслоение-покрытие» [2].

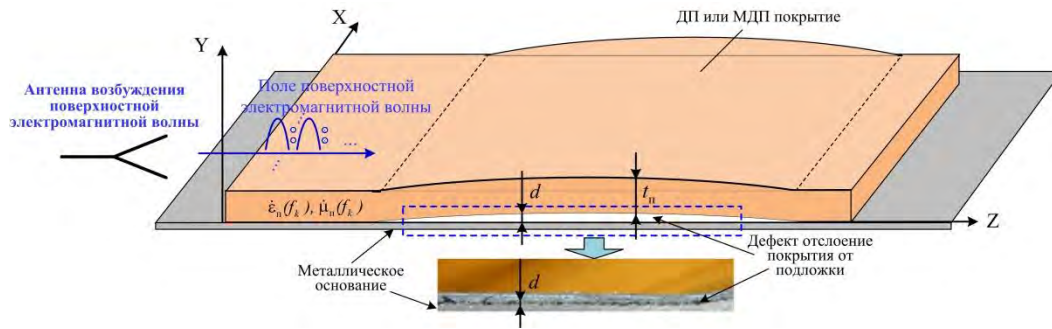


Рис. 1. Геометрия однослойного РПП при отслоении его от металлической подложки

Вектор электрофизических параметров (ЭФП) РПП представим пятикомпонентным $\xi_{\text{п}} = \{\varepsilon'_{\text{п}}(f_k), \varepsilon''_{\text{п}}(f_k), \mu'_{\text{п}}(f_k), \mu''_{\text{п}}(f_k), t_{\text{п}}\}$, где $\varepsilon'_{\text{п}}(f_k), \mu'_{\text{п}}(f_k)$ действительные и $\varepsilon''_{\text{п}}(f_k), \mu''_{\text{п}}(f_k)$ мнимые части диэлектрической и магнитной проницаемостей соответственно, $t_{\text{п}}$ – толщина покрытия, а вектор дефектов $\xi_{\text{д}} = \{d_s, d_{s+1}, \dots, d_M\}$ представим в виде одной величины отслоения d . Исходя из этого, комплексный коэффициент ослабления ПЭМВ будет иметь следующий вид $\mathcal{K}(f, \xi_{\text{п}}, d)$.

Выражение для целевой функции оценки отслоения \hat{d} представим в следующем виде:

$$\hat{d} = \arg \min_{d \in d_{\text{дон}}} \rho(d, \alpha''(f, \xi_{\text{п}}, d)) = \sum_{k=1}^L |\mathcal{K}_s(f_k, \xi_{\text{п}}, d) - \mathcal{K}_T(f_k, \xi_{\text{п}}, d)|^2. \quad (1)$$

Теоретические значения коэффициента ослабления $\mathcal{K}(f, \xi_{\text{п}}, d)$ ПЭМВ рассматриваемого двухслойного покрытия «отслоение-покрытие» получали путем решения дисперсионного уравнения по известному вектору ЭФП $\xi_{\text{п}}$ и пробным значениям величин отслоений d на частотах $f_k, k=1, 2, \dots, L$ [2]:

$$D[\mathcal{K}(f, \xi_{\text{п}}, d); f_k] = 0. \quad (2)$$

Дисперсионное уравнение (2) составляли, используя метод «поперечного резонанса» [2]. Расчетная схема составления дисперсионного уравнения (2) приведена на рис. 2.

Уравнение «поперечного резонанса» для составления дисперсионного уравнения (2) имеет следующий вид [2]:

$$\mathcal{Z}_{\text{в}}^{\mathcal{R}}(y) + \mathcal{Z}_{\text{н}}^{\mathcal{S}}(y) = 0, \text{ при } \forall y, \quad (3)$$

где $\mathcal{Z}_{\text{в}}^{\mathcal{R}}(y)$ и $\mathcal{Z}_{\text{н}}^{\mathcal{S}}(y)$ – эквивалентные характеристические сопротивления «вверх» и «вниз» относительно произвольного опорного сечения y_0

(для удобства математических преобразований выбрано сечение y_0 между слоем «отслоение» и металлической подложкой).

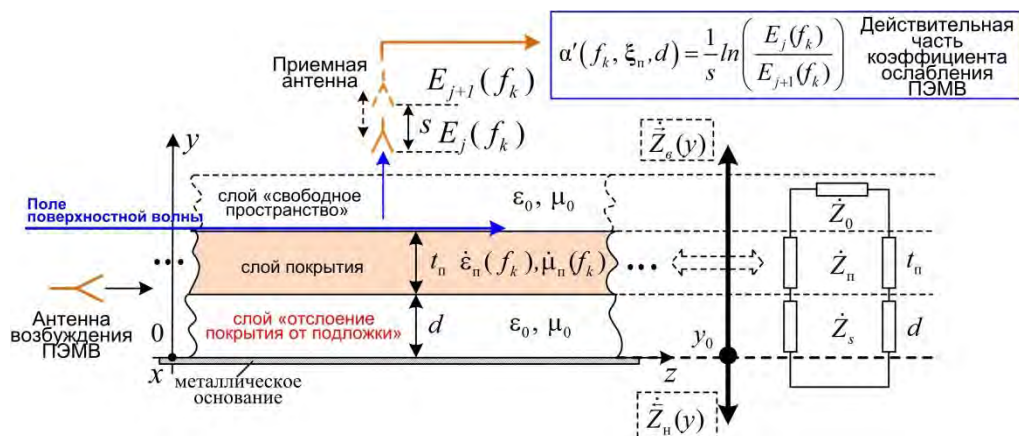


Рис. 2. Расчетная схема составления дисперсионного уравнения для РПП при отслоении от металлической подложки

Итоговое дисперсионное уравнение для РПП с отслоением представим в следующем виде:

$$D[\alpha(f_k, \xi_n, d); f_k] = 0 \equiv \Re\{Z(s_{\pi_0})\} = 0, \quad (4)$$

где $\Re\{Z(s_{\pi_0})\}$ – эквивалентное характеристическое сопротивление слоя «отслоение», слоя РПП и области над РПП (слой «свободное пространство»).

Полученное дисперсионное уравнение (4) позволяет для заданной частоты, ЭФП РПП, с учетом их частотной дисперсии, и величине отслоения d однозначно определить комплексный коэффициент ослабления ПЭМВ $\alpha(f, \xi_n, d)$ и, по сути, является прямой задачей метода квазирешений для ПЭМВ.

В качестве примера работы метода рассмотрим численный эксперимент по оценке величины отслоения для образца РПП со следующими характеристиками [2]: $\epsilon' = 20,45$, а $\epsilon'' = 0,73$, дисперсия комплексной магнитной проницаемости РПП описывается зависимостями:

$$\mu'(f_k) = 1,56 \exp(-3.867 \cdot 10^{-11} f_k); \quad \mu''(f_k) = 1,299 \exp(-4.659 \cdot 10^{-11} f_k).$$

На рис. 3 представлены зависимости среднего квадрата ошибки Δ_d оценки величины отслоения РПП при возрастании значений отношения «сигнал-шум» (ОСШ), при возрастании ширины полосы частот измерений и возрастании количества частот измерений. Моделирование осуществлялось для образца РПП толщиной 1 мм, с ЭФП описанными выше, при величине отслоений от 0 до 0,5 мм с шагом 0,01 мм. Средний квадрат

ошибки вычислялся как среднее для всех возможных отслоений $d \in \{d_1, d_2, \dots, d_N\}$

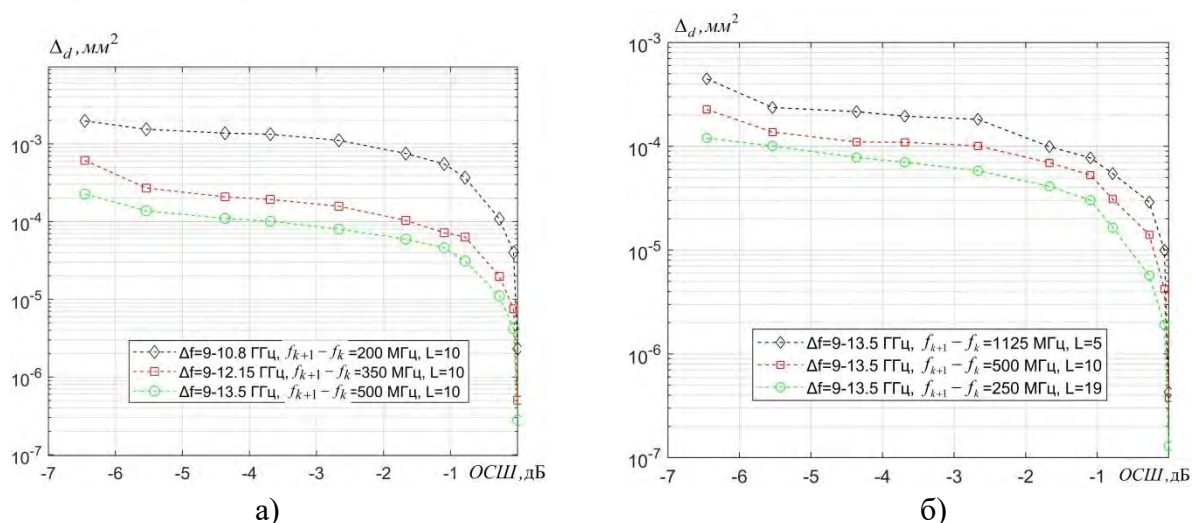


Рис. 3 Зависимости среднего квадрата ошибки Δ_d оценки отслоения в РПП при возрастании значений отношения «сигнал-шум» при возрастании ширины полосы частот измерений (а) и при возрастании количества частот измерений (б)

Анализ зависимостей на рис. 3 показывает, что средний квадрат ошибки Δ_d оценки величины отслоения уменьшается при возрастании ОСШ, увеличения ширины Δf полосы частот измерений и их количества. Проведенные численные эксперименты показали, что при ширине полосы частот $\Delta f = 9-13,5$ ГГц, предельный прирост повышения точности обеспечивается при измерениях на 19 частотах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту 12-08-07008.

Список используемых источников

1. Лагарьков А.Н., Погосян М.А. Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий // Вестник РАН. 2003. Т. 73. № 9. С. 779–787.
2. Казьмин А.И., Федюнин П.А. Оценка степени отслоения диэлектрических и магнетодиэлектрических покрытий с использованием поверхностных электромагнитных волн СВЧ диапазона // Дефектоскопия, 2020. № 9. С. 50–63.

Казьмин А.И., Федюнин П.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ОТСЛОЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
(г. Воронеж)

Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке диэлектрических покрытий от металлического основания с помощью многочастотного метода поверхностных электромагнитных волн. Проведенные исследования показали, что метод обеспечивает принципиальную возможность оценки значения регистрируемых величин отслоений диэлектрических покрытий от металлической подложки 20 мкм и менее в полосе частот 9–13,5 ГГц.

Ключевые слова: диэлектрическое покрытие, отслоение, метод поверхностных электромагнитных волн, векторный анализатор электрических цепей

Диэлектрические (ДП) покрытия, работающие в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ), широко применяются в различных областях науки и техники. Эффективно реализовать свойства ДП можно только при строгом соблюдении технологических режимов и допусков при их нанесении. При недостаточной адгезии в ходе эксплуатации высокие внутренние напряжения приводят к отслоениям ДП.

Измерительный комплекс для реализации оценки величины отслоения ДП d реализован на основе векторного анализатора электрических цепей (ВАЦ) Anritsu 37347A. На рис. 1 представлена структурная схема и фотография измерительного комплекса, где цифрами обозначено: 1 – векторный анализатор электрических цепей; 2 – приемная антенна с механизмом перемещения – 3; 4 – электронная вычислительная машина; 5 – антенна возбуждения ПЭМВ; 6 – металлическая поверхность; 7 – ДП или МДП с отслоением d ; 8 – отслоение покрытия.

Использование ВАЦ позволило отказаться от отдельного генератора и блока детектирования. Для этого первый порт ВАЦ подключен к антенне возбуждения ПЭМВ, а второй порт подключен к приемной антенне. Оценку коэффициента ослабления ПЭМВ проводили по измеренным коэффициентам передачи S_{12} по формуле:

$$\alpha'(f_k, \xi_n, d) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{s} \ln \left[\frac{S_{12j}}{S_{12j+1}} \right], \quad (1)$$

где s – шаг между точками измерений, который составлял 0,5 мм; n – количество точек измерения (экспериментальные исследования показали, что для приемлемой точности оценок коэффициента ослабления необходимо $n=4-5$ точек измерения над поверхностью), где f – частота зондирующего сигнала $\xi_n = \{\xi_1, \dots, \xi_n, b_{n+1}, \dots, b_{2n}\}$ $i=1, \dots, 2n$ – $3n$ -мерный вектор описывающий электрофизические параметры (ЭФП) n -слойного покрытия, ξ_1, \dots, ξ_n – комплексные относительные диэлектрические проницаемости, $b_{2n+1} = (t_{2n+1}/\lambda)_{2n+1}, \dots, b_{3n} = (t_{3n}/\lambda)_{3n}$ – относительные толщины слоёв n -слойного материала; t_{n+1}, \dots, t_{2n} – толщины слоёв материала; λ – длина волны зондирующего сигнала, d – величина отслоения.

Использование ВАЦ позволило осуществить измерения коэффициента ослабления одновременно на всех заданных частотах $f_k, k=1, 2, \dots, L$, что позволило значительно сократить время проведения измерений.

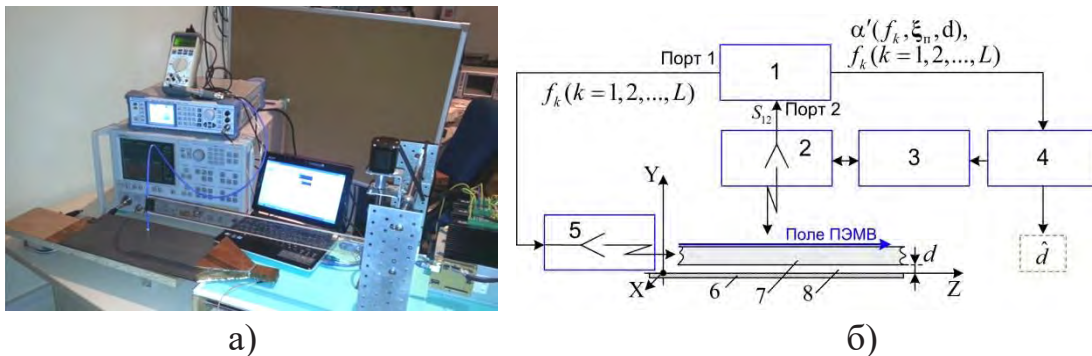


Рис. 1 Структурная схема (а) и фотография (б) измерительного комплекса, реализующего метод оценки отслоения

В качестве материалов для экспериментального исследования использовали полутвердую резину ($\varepsilon' = 7,1$, дисперсию мнимой части диэлектрической проницаемости аппроксимировали зависимостью:

$$\varepsilon''(f_k) = -1.607 \cdot 10^{-31} \cdot (f_k)^3 + 7.766 \cdot 10^{-21} \cdot (f_k)^2 - 1.395 \cdot 10^{-10} f_k + 1.103),$$

толщиной 2 мм и СВЧ-материал RO3010 (компания Rogers Corporation, USA) толщиной 1,2 мм (частотные дисперсии действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости RO3010 аппроксимировали зависимостями [1]:

$$\varepsilon'(f_k) = 10,22 \exp(-1.773 \cdot 10^{-13} f_k) + 1,2 \cdot 10^{-7} \exp(6,947 \cdot 10^{-10} f_k),$$

$$\varepsilon''(f_k) = 0.02633 \exp(-1.181 \cdot 10^{-11} f_k) - 0.01827 \exp(-2.954 f_k).$$

Наличие отслоений в покрытии моделировали размещением нескольких плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД) между металлическим основанием и слоем соответствующего покрытия. Использовали ПКМД 1-Н10 1 класса точности. В наборе 20 ПКМД от 0,1 мм до 0,2 мм с шагом 0,01 мм.

Покрытия на основе полутвердой резины и RO3010 были исследованы при возрастающих значениях величины отслоения $d=0,2\dots0,3$ мм. С целью уменьшения случайных погрешностей измерений (особенно погрешности установки заданной величины отслоения с помощью ПКМД), измерения проводились для 5 образцов каждого типа покрытия. После этого проводили усреднение результатов измерений. Кроме того, перед проведением измерений с новой величиной отслоения проводили калибровку векторного анализатора цепей.

Оценку величин отслоения проводили при возрастании количества частот измерений ($L=5, L=10, L=19$), при фиксированной ширине полосы частот ($\Delta f = 9-13,5 ГГц$) и при фиксированном количестве частот ($L=10$), при увеличении ширины полосы частот ($\Delta f_1 = 9-10,8 ГГц$, $\Delta f_2 = 9-12,15 ГГц$, $\Delta f_3 = 9-13,5 ГГц$).

После оценки экспериментальных значений коэффициентов ослабления (1) производили оценку величины отслоения \hat{d} на основе разработанного алгоритма [ДФ] и оценивали относительную погрешность его оценки, путем сопоставления со значением отслоения, обеспечивающегося заданным номиналом ПКМД $\delta d = |\hat{d} - d_{ПКМД}| / d_{ПКМД} \cdot 100\%$.

В качестве примера на рис. 2 приведена экспериментальная частотная зависимость коэффициента ослабления от частоты покрытия RO3010 без отслоения и для величины отслоения 0,2 мм.

Проведенные исследования показали, что при измерениях в полосе частот ($\Delta f = 9-13,5 ГГц$) при возрастании количества частот измерений, получили для покрытия RO3010 следующие относительные погрешности оценки отслоений: при $L=19$, $\delta d \approx 5\%$, при $L=10$, $\delta d \approx 10,1\%$ и при $L=5$, $\delta d \approx 19\%$. Для образца полутвердой резины погрешности оценки отслоения несколько выше (при $L=19$, $\delta d \approx 5,5\%$, при $L=10$, $\delta d \approx 11\%$ и при $L=5$, $\delta d \approx 21\%$).

При фиксированном количестве частот измерений $L=10$ при возрастании ширины полосы частот измерений, получили для покрытия RO3010 следующие относительные погрешности оценки отслоений: при $\Delta f_1 = 9-13,5 ГГц$, $\delta d \approx 10\%$, при $\Delta f_2 = 9-12,15 ГГц$, $\delta d \approx 13\%$, при $\Delta f_3 = 9-10,8 ГГц$, $\delta d \approx 25\%$.

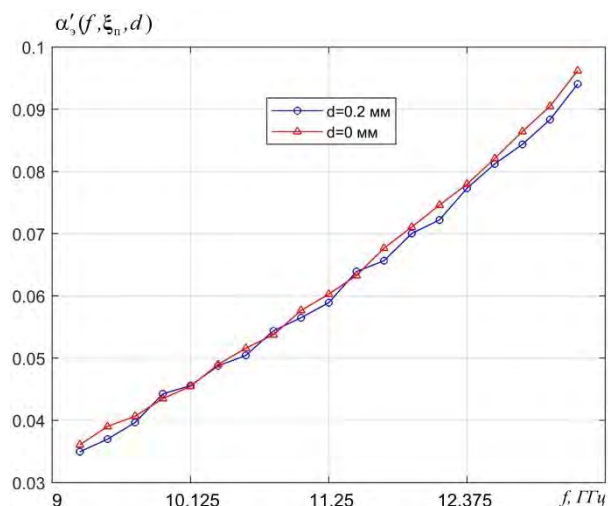


Рис. 2 Частотная зависимость коэффициента ослабления от частоты для отслоения $d=0,2$ мм

Таким образом, экспериментальные исследования показали принципиальную возможность обеспечить значения регистрируемых величин отслоений покрытий 20 мкм и менее при измерениях в полосе частот $\Delta f = 9 - 13,5$ ГГц .

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту 12-08-07008.

Список используемых источников

1. Казьмин А.И., Федюнин П.А. Оценка степени отслоения диэлектрических и магнетодиэлектрических покрытий с использованием поверхностных электромагнитных волн СВЧ диапазона // Дефектоскопия. 2020. № 9. С. 50–63.

Качалов Р.М.¹, Слепцова Ю.А.¹, Шокин Я.В.²

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

¹ФГБУН Центральный экономико-математический институт РАН

²Институт системного анализа и управления,
ФГБОУ ВО Московской области "Университет "Дубна"

Аннотация: Несмотря на важность развития предприятия совместно с его социально-экономической экосистемой, теоретическая и практическая связь между процессом выявления факторов риска развития предприятия и его социально-экономической экосистемы предприятия остается в значительной степени неизученной. Целью данного исследования, выполняемого при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-010-01042), является разработка концептуальной модели обоснования и принятия экономических решений с учетом факторов риска социально-экономической экосистемы предприятия на основе алгоритма оценивания их возможных позитивных и негативных последствий, с применением инструментария искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: управление риском, факторы риска, социально-экономическая экосистема, рациональное поведение, антирисковые управленческие воздействия.

Чтобы понять, как руководители предприятия могут эффективно контролировать и снижать уровень риска его развития, необходимо изучить структуру его социально-экономической экосистемы и взаимосвязи между уровнем риска ее развития и внутрисистемными взаимодействиями.

Социально-экономическая экосистема в данном исследовании рассматривается как «локализованный комплекс самостоятельных организаций, бизнес-процессов, инновационных проектов и инфраструктурных образований, способных к длительному функционированию, за счет кругооборота ресурсов и продуктов» (Клейнер, 2019).

В исследовании показано, что одним из трендов, влияющих на изменение социально-экономической экосистемы предприятия, в том числе предприятий энергетической отрасли, является децентрализация генерации производства электроэнергии. Без современных цифровых технологий такие процессы могут привести к дисбалансу, то есть проявлению та-

ких факторов риска, как факторы риска избытка или дефицита мощности. Каждый субъект социально-экономической экосистемы имеет различные атрибуты, опыт и убеждения, поэтому при децентрализации генерации электроэнергии может произойти сдвиг в энергетических цепочках создания стоимости (Jones, Michelfelder, Nair, 2017).

Другим трендом развития современного общества является электрификация транспорта и промышленности, и как следствие для всей энергетической отрасли акцент на декарбонизации. Таким образом, с одной стороны, факторы риска развития экосистемы предприятия можно рассматривать в двух парадигмах: факторы риска, имеющие как естественное, так и искусственное происхождение, а с другой стороны, как глобальные или локальные факторы риска. Это зависит от степени влияния на структуру экосистемы предприятия того или иного вида из всей совокупности экосистем биологической, социальной, экономической или цифровой. Различия в принципах принятия решений могут привести к непредвиденным результатам на уровне экосистемы, поэтому важно определить факторы риска взаимодействия предприятия и других экономических агентов.

Для управления уровнем риска в настоящее время активно применяются цифровые технологии, в том числе искусственные нейронные сети. Технологии искусственных нейронных сетей концептуально имитируют работу нейронных сетей в мозгу человека, по аналогии с этим можно рассмотреть иммунную систему живого организма и перенести принципы ее функционирования в систему управления уровнем риска в деятельности как отдельного предприятия энергетической отрасли, так и его социально-экономической экосистемы.

В работе выявляются практические аспекты общей теории экосистем и используются в дальнейших исследованиях феномена риска развития предприятия и его экосистемы.

Методы построения моделей иммунного ответа (Кузнецов, 2015), описывающие сложную иммунную систему, которые используются в биологии для выявления генетически чужеродных агентов и их уничтожения или для нейтрализации их патогенного действия, совместно с методами искусственных нейронных сетей могут быть также применены для идентификации факторов риска, оценки уровня риска и разработки антирисковых управленческих воздействий (Качалов, 2012) в условиях цифрового взаимодействия в системе управления уровнем риска в деятельности предприятия энергетической отрасли и его социально-экономической экосистемы.

Развитие индустриального Интернета Вещей (*Internet of Things, IoT*), беспилотного электрифицированного транспорта, внедрение автономных источников электроэнергии, то есть внедрение цифровых технологий в различных отраслях промышленности, обуславливает появление факторов риска некорректной реализации алгоритмов, в частности искусственных нейронных сетей, и может причинить не только материальный ущерб, но и инициировать угрозы жизни и здоровью людей (Russell, Dewey, Tegmark, 2015). Концептуальная схема архитектуры системы управления риском IoT или индустриального интернета вещей на предприятиях энергетического сектора должна включать в себя датчики, сбор данных, процессы обмена информацией между машинами и механизмами и облачные хранилища (Куприяновский и др., 2016). Система управления уровнем риска, которая обеспечивает «цифровой иммунитет», в данном случае, понимается как множественная гетерогенная конструкция в социально-экономической экосистеме, состоящая из компонентов, принадлежащих различным онтологическим порядкам (Martin, 1990). Работа иммунной системы заключается в подготовке иммунного ответа до какого-либо внешнего воздействия. Система управления уровнем риска социально-экономической экосистемы должна содержать компоненты, участвующие в иммунном ответе, возможно, с избытком (Сивков, 2018). В экономических терминах «цифровой иммунитет» экосистемы можно признать высоким в том случае, если затраты на выполнение успешной атаки извне на такую систему окажется выше потенциального ущерба, нанесенного социально-экономической экосистеме. Для успешного отражения внешних, так называемых хакерских атак, программные комплексы или приложения должны работать изолированно, таким образом будет осуществляться некоторая фрагментация и разделение сценариев работы устройств, для диссипации факторов риска сбоя работы локальных энергетических систем (Слепцова, Качалов, Шокин, 2020). Снизить возможные негативные последствия потенциальных компьютерных атак можно, используя превентивные антирисковые управленческие воздействия, такие как, например, защищенные контроллеры для передачи данных, специализированные операционные системы и защищенные облачные хранилища. Усиленные меры безопасности как на предприятии, так и в рамках его социально-экономической экосистемы должны быть направлены на системы электроснабжения и связи, так как именно эти объекты снабжены удаленными системами управления.

Для широкого применения технологий искусственных нейронных сетей на предприятиях энергетической отрасли им необходимо достичь «базового» уровня в современных технологиях, то есть создать информа-

ционную систему управления производственными и бизнес-процессами, автоматизировать управление ресурсами, как трудовыми, так и материальными, внедрить специализированные информационные решения для взаимоотношений с поставщиками и покупателями, реализовать систему бюджетирования, управления производством и качеством и создать системы управленческой отчетности.

Результаты исследования могут использоваться при предварительном планировании процессов координации, экспертизы, оценки и прогнозирования эффективности инновационной или инвестиционной деятельности как внутри, так и за пределами предприятия энергетической отрасли. С развитием цифровых технологий, появляется новая концепция управления уровнем риска - концепция цифрового иммунитета. Понятие «цифровой иммунитет» в дальнейшем может серьезно повлиять на развитие новой теории управления уровнем риска на предприятиях энергетического сектора и их социально-экономических экосистем.

Исследование проведено в рамках проекта РФФИ №18-0100-01042 А

Список использованной литературы

1. Клейнер Г.Б. 2019 Экономика экосистем: шаг в будущее. // Экономическое возрождение России. – 2019. - № 1 (59), с. 40-45.
2. Jones S. A., Michelfelder D., Nair I. Engineering managers and sustainable systems: the need for and challenges of using an ethical framework for transformative leadership //Journal of Cleaner Production. – 2017. – Т. 140. – С. 205-212.
3. Кузнецов С.Р. Математическая модель иммунного ответа // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2015. (4). С.72-87.
4. Качалов, Р. М. Управление экономическим риском: теоретические основы и приложения / Р. М. Качалов. – СПб. : Нестор-История, 2012. – 288 с.
5. Russell S.J., Dewey D., Tegmark M. Research priorities for robust and beneficial artificial intelligence // Artificial intelligence Magazine, 2015.vol. 36, no. 4, pp. 105-114.
6. Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Дрожжинов В.И., Куприяновская Ю.В., Иванов М.О. Интернет-Вещь на промышленных предприятиях. // International Journal of Open Information Technologies. 2016. №4 (12). С. 69-78.
7. Martin E. Toward an Anthropology of Immunology: The Body as Nation State //Medical Anthropology Quarterly. 1990. Vol. 4. № 4. P. 410–426.
8. Сивков Д. Свое или чужое? Создание тела в иммунологии. // Философско-литературный журнал «Логос», 2018. 28 (5 (126)). С. 249-286.
9. Слепцова Ю.А., Качалов Р.М., Шокин Я.В. Создание системы управления экономическим риском с использованием искусственных нейронных сетей // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2020. Т. 13, № 5. С. 24–37. DOI:10.18721/JE.13502

Колодина А.А., Чернышов Н.Г.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ

Тамбовский государственный технический университет

В настоящий момент недостаток и дороговизна энергоресурсов оказывает определяющее влияние на развитие экономики государства. В то время как разработки в области альтернативных источников энергии требуют значительных временных и материальных затрат и навряд ли в ближайшей перспективе выйдут на уровень эквивалентности современных энергоносителей. На данный момент буквально отсутствуют технологические установки с управляющими системами, которые в реальное время решают задачи синтеза и реализации энергосберегающего управления динамическими режимами. Общий интерес представляют методы когнитивной графики, которые позволяют реализовывать сложные алгоритмы энергосберегающего управления технологическими объектами и упрощающие восприятие разработчиками сложных задач энергосберегающего управления. Одним из главных требований метода энергосберегающего управления с применением когнитивной графики является большой объем памяти для хранения когнитивных образов.

К энергоемким объектам, значительную долю работы, которые составляют динамические режимы, первоначально, следует отнести тепловые аппараты и машины с электроприводами. Экономия энергоресурсов при оптимальном управлении динамическими режимами систем энергосберегающего управления составляет 5-30 % [2].

Построение систем оптимального энергосберегающего управления для конкретного объекта представляет собой наукоемкий проект со значимыми экономическими затратами. Значимый объем расчетов оптимального управления на этапе анализа не позволяет оперативно, в реальном масштабе времени осуществлять оптимальное энергосберегающее управление объектом. Результаты полного анализа оптимального управления когнитивных графических образов предоставляет возможность в процессе управления объектом избежать части расчетов, тем самым значительно снизить время вычислительных операций и в дальнейшем использовать полученные когнитивные образы для оперативного синтеза оптимального управления [2]. Это дает возможность разработчику визу-

ально оценить решение сложной задачи и составить базу знаний по возможным изменениям объекта [3].

Наибольший эффект при оптимальном управлении тепловыми аппаратами энергосбережения достигается за счет следующих факторов:

- оптимальное управление динамическими режимами при нагреве тел;
- обеспечение достижения требуемой температуры точно в назначенное время;
- устранение отклонений регулируемой величины (режим стабилизации) от заданного значения с минимумом затрат энергии;
- использование резервов своевременного отключения энергоносителей (например, за счет остаточного тепла разогретого электронагревателя) [1].

Для того чтобы система оптимального энергосберегающего управления была экономически оправдана, она должна быть в достаточной мере недорогой, а так же владеть вычислительными возможностями, которые позволяют оперативно рассчитывать оптимальное управление при изменении исходных данных.

На следующем этапе решения задачи полученный когнитивный графический образ оптимального управления используется для оперативного синтеза оптимального управления объектом.

На рисунке 1 показан выбор средств реализации возможностей когнитивной графики в системах оптимального энергосберегающего управления в зависимости от характеристик объекта.

Исследования на практике показали, что в случае простых объектов, реализовать системы оптимального энергосберегающего управления возможно без использования сложных микропроцессорных средств. При этом когнитивный образ управления формируется в адресном пространстве ППЗУ. Это позволяет за счет оптимизации аппаратных средств получать дешевые и вместе с тем высокоэффективные устройства, уровень быстроедействия которых может превосходить специализированные микропроцессорные контроллеры. Также подобный подход позволяет эффективно внедрять алгоритмы оптимального энергосберегающего управления в существующие системы управления технологическими процессами.

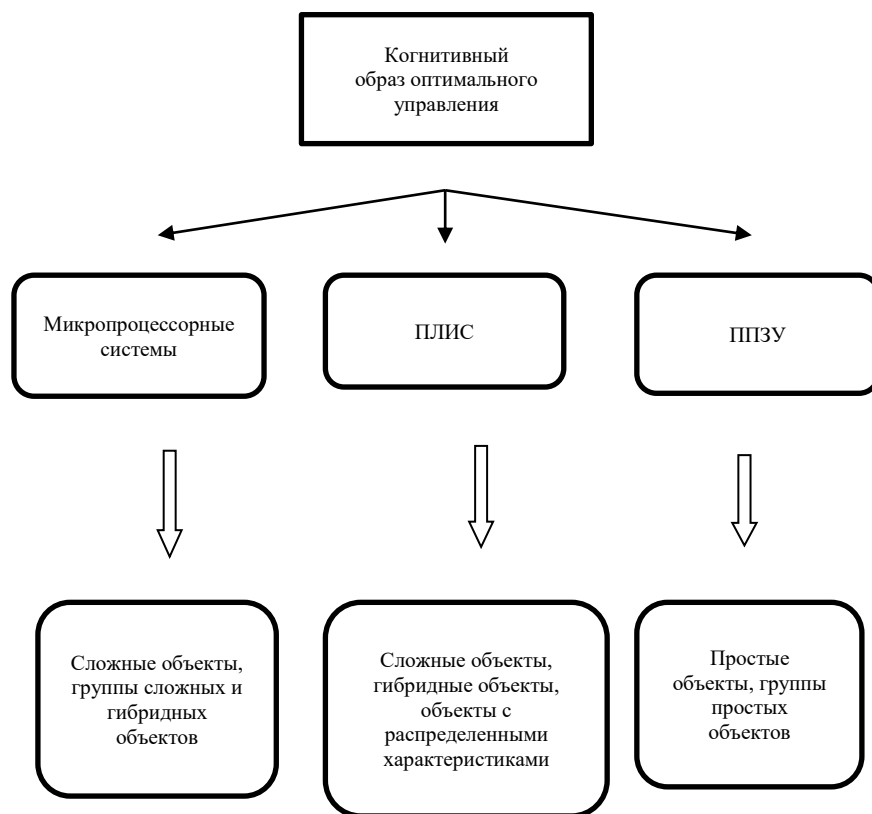


Рис.1 Технические средства реализации возможностей когнитивной графики в системах оптимального энергосберегающего управления

Список литературы

1. Матвейкин В.Г., Муромцев Д.Ю. Теоретические основы энергосберегающего управления динамическими режимами установок производственно-технического назначения//Машиностроение.2007.С.24-26.
2. Muromtzev, D., Chernyshov, N. Features of creation of power saving control systems on set operation conditions. Allerton Press, Inc., New York/Automatic Control and Computer Sciences. 2008.-Volume 42, Number 3, p.163-168.
3. Чернышов Н.Г. Система управления удалёнными динамическими объектами с использованием принципов когнитивной графики/ Н.Г. Чернышов, О.А. Белоусов// Автоматизация и современные технологии.- 2010. - №7.- С. 28-33.

Кудряшов М.А., Белоусов О.А., Дмитриевцев А.Ю.

ПОСТРОЕНИЕ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОЛУВОЛНОВОЙ И ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВОЙ КВАДРИФИЛЯРНОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ МНОГОПРОВОДНЫХ СПИРАЛЕЙ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

***Аннотация:** Рассмотрены этапы построения феноменологической модели полуволновой и четвертьволновой квадрифилярной спиральной антенны, где каждый спиральный излучатель образован из нескольких проводников, а так же приведены результаты моделирования данных антенн.*

В настоящее время существует достаточно много методов и подходов, направленных на синтез различных антенных структур, однако большинство этих методов используют в своей основе методы конечных элементов, натурного моделирования, методы связанные со строгим решением электродинамических задач, а также методы которые используют в своей основе построение физической модели. Не всегда такие методы можно применить при разработке новых излучателей, так как они – в первом случае достаточно громоздки вычислительно, а во втором необходима построение непосредственно физической модели. Предлагаемый подход в данной работе направлен на построение феноменологической модели излучателя.

Квадрифилярные спиральные антенны (КСА) широко известны как антенны, имеющие круговую поляризацию, хорошую направленность излучения, а так же малые габаритные показатели.

В данной вариации КСА спиральные излучатели состоят из нескольких проводников, намотанных по спирали, что должно позволить осуществить независимую настройку входного сопротивления антенны и облегчить её согласование со схемой питания.

Для дальнейшего анализа и моделирования КСА сначала опишем излучатель в аналитическом виде.

Чтобы облегчить процесс расчета диаграммы направленности примем наш излучатель за плоскую прямолинейную эквидистантную равноамплитудную антенную решетку, так как используются 4 идентичных спиральных излучателя на одинаковом расстоянии друг от друга. В таком случае для получения результирующей диаграммы направленности вос-

пользуемся теоремой перемножения диаграмм направленности. Тогда результирующая ДН примет вид

$$F(\theta, \varphi) = f_1(\theta, \varphi) f_c(\theta, \varphi), \quad (1)$$

где $f_1(\theta, \varphi)$ – результирующая диаграмма направленности одного излучателя; $f_c(\theta, \varphi)$ – множитель антенной решетки.

Векторная ДН излучателя имеет вид

$$f_1(\theta, \varphi) = J_0(ka \cdot \sin\theta) \cdot \cos\theta, \quad (2)$$

где J_0 – функция Бесселя нулевого порядка; k – волновое число свободного пространства; a – радиус спирали.

Для определения множителя антенной решетки примем N_x и N_y за число излучателей в столбцах и рядах соответственно.

$$F_{Cx}(\theta_x) = \frac{\sin\left[\frac{N_x}{2}(kd_x \cos\theta_x - \alpha_x)\right]}{N_x \sin\left[\frac{1}{2}(kd_x \cos\theta_x - \alpha_x)\right]}, \quad (3)$$

На основе преобразований указанных в пособии [3], получаем выражение множителя антенной решетки

$$F_C(\theta, \varphi) = \frac{\sin\left(\frac{N_x}{2}kd_x \sin\theta \cos\varphi - \alpha_x\right)}{N_x \sin\left(\frac{1}{2}(kd_x \sin\theta \cos\varphi - \alpha_x)\right)} \frac{\sin\left(\frac{N_y}{2}kd_y \sin\theta \sin\varphi - \alpha_y\right)}{N_y \sin\left(\frac{1}{2}(kd_y \sin\theta \sin\varphi - \alpha_y)\right)}, \quad (4)$$

Теперь, определив множитель антенной решетки, получаем результирующую диаграмму направленности квадрифилярного спирального излучателя

$$F(\theta, \varphi) = (J_0(ka \cdot \sin\theta) \cdot \cos\theta) \times \frac{\sin\left(\frac{N_x}{2}kd_x \sin\theta \cos\varphi - \alpha_x\right)}{N_x \sin\left(\frac{1}{2}(kd_x \sin\theta \cos\varphi - \alpha_x)\right)} \frac{\sin\left(\frac{N_y}{2}kd_y \sin\theta \sin\varphi - \alpha_y\right)}{N_y \sin\left(\frac{1}{2}(kd_y \sin\theta \sin\varphi - \alpha_y)\right)}, \quad (5)$$

Для анализа электродинамических характеристик данных излучателей были смоделированы две квадрифилярные спиральные антенны: полуволновая и четвертьволновая КСА. Их внешний вид показан на рисунке 1а и 1б соответственно.

Обе модели КСА работают в резонансном режиме. В случае с четвертьволновой КСА антенна выступает резонатором в отрезке линии передачи, он закорочен с одной стороны и разомкнут с другой. Роль короткозамыкателя в данном случае выполняет основание антенны. Полуволновая КСА работает аналогичным способом, действуя как отрезок линии передачи, который замкнут с обеих сторон [1,2].

На основе полученной математической модели было проведено моделирование излучателей. Моделирование обеих моделей КСА было проведено в программной среде Altair FEKO. Модель четвертьволновой квадрифилярной спиральной антенны обладает коэффициентом усиления 2.5 дБи, её диаграмму направленности (ДН) можно увидеть на рисунке 2.

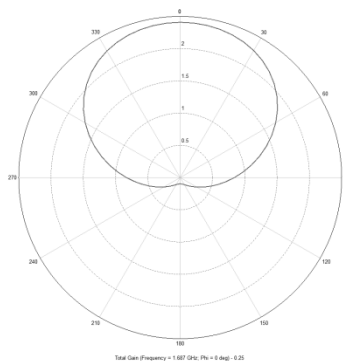


Рисунок 2 – ДН четвертьволновой КСА

Геометрические размеры данной антенны: высота спирали – 61 мм, радиус спирали – 19 мм.

Согласно результатам моделирования данная антенна имеет коэффициент усиления 2.5 дБи, коэффициент стоячей волны (КСВ) не более 2.5 на всем диапазоне частот, а коэффициент отражения равен -4 дБ на центральной частоте.

Полуволновая КСА имеет коэффициент усиления 3.5 дБи, её ДН можно увидеть на рисунке 3.

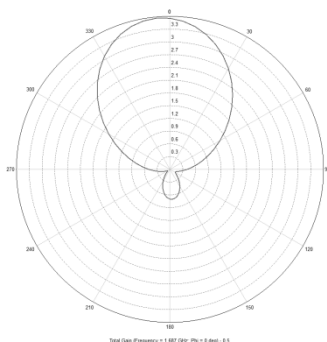


Рисунок 3 – ДН полуволновой КСА

Геометрические размеры полуволновой квадрифилярной спиральной антенны аналогичны четвертьволновой модели.

Электродинамические характеристики данной антенны – КСВ не более 3.5 на всем диапазоне частот и не более 1 на центральной частоте, коэффициент отражения равен -10 дБ на центральной частоте.

Применение данного метода позволит синтезировать сложные антенные системы и комплексы без использования методов натурального моделирования и без построения физических моделей, так как этот подход показывает максимально приближенные к реальной физической модели результаты, в которых расхождение с физической моделью составляет менее пяти процентов.

Работа частично выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 14-08-00489 А

Список использованной литературы

1. Антенны сверхвысоких частот / А. З. Фрадин. - Ленинград : [б. и.], 1950. - 267 с.
2. Антенны : учебное пособие / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белосусов [и др.]. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 412 с. — ISBN 978-5-8114-5148-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/133478> (дата обращения: 31.05.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Мальханов М. Ю., Стерлигов В. А., Крамченков Е. М., Мануковская Т. Г.

К ВОПРОСУ О ВЫТЯЖНОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ КАНАЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк).

***Аннотация:** в данной работе рассматривается сложившееся положение в системах естественной канальной вытяжной вентиляции многоэтажных жилых домов и предлагается новое техническое решение по устройству вытяжной системы вентиляции.*

***Ключевые слова:** естественная вентиляция*

В большинстве жилых зданий современной постройки, как и в постройке 60...80-х годов прошлого века устраивают вытяжную вентиляцию без организованного притока, как правило, с воздухообменом не более однократного. При этом неорганизованный приток воздуха осуществляется через неплотности в оконных переплётах и открытые форточки. Реже устраивают специальные вентиляционные устройства под подоконниками и в конструкции окон [1].

В последние годы в существующих и вновь возводимых зданиях в вентиляционные каналы из санузлов, ванных и кухонь, предназначенных для естественной вытяжки, собственники квартир в процессе ремонтов или отделки и благоустройства новых квартир самостоятельно устанавливают вентиляторы, переоборудывая естественную вытяжную канальную систему вентиляции в механическую. В санузлах и ванных комнатах вентиляторы устанавливают непосредственно вместо жалюзийных решёток, а в кухнях, как при газовых, так и при электрических плитах устраивают местные отсосы в виде зонтов-козырьков с вентилятором. Подключают отсосы непосредственно в естественную вытяжную систему. С учётом вышеизложенного вытяжная система вентиляции выглядит так, как показано на рис. 1.

Устройство зонтов и выбор мощности вентиляторов, как правило, происходит без каких-либо аэродинамических расчётов. В результате нарушается работа естественных вытяжных систем, и зачастую при работе механических вытяжек удаляемый воздух из помещения одной квартиры попадает в помещение других квартир.

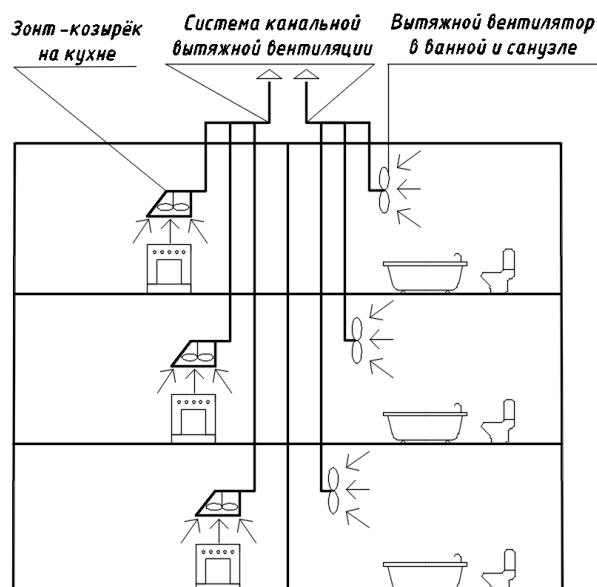


Рис. 1. Схема вытяжной естественной канальной вентиляции в 3-х этажном многоквартирном доме с установленными нагнетателями.

В зданиях, оборудованных газовыми водонагревателями для систем горячего водоснабжения, проблема усугубляется ещё и тем, что в результате самовольной установки кухонных вытяжек возможно их включение не в вентиляционный канал, а в дымоход газовых водонагревателей, что приводит к непредсказуемым последствиям. В квартирах с газовым оборудованием при установленных газоплотных окнах и дверях в отсутствие организованного притока вероятность недожога природного газа из-за нехватки кислорода достаточно велика, что создаёт опасность не только для жильцов квартир, но и квартир, расположенных на других этажах.

Причинами, породившими вышеизложенное, являются не только стремление населения к повышению благоустройства кухонь, ванных комнат и санузлов современных зданий, но и сложившаяся практика в строительстве жилья, когда всю отделку, оборудование квартир санитарной техникой и т. д. выполняют самостоятельно собственники квартиры. Самостоятельное оснащение собственниками вытяжной вентиляции жилых зданий, спроектированной на естественную тягу, механическими вентиляционными устройствами без каких-либо проектных решений в процессе эксплуатации приводит к полной её разрегулировке. Самостоятельная установка нагнетателей приводит к попаданию отработанного вытяжного воздуха в помещения других этажей.

В связи с тем, что вытяжная вентиляция в жилых зданиях предназначена не только для удаления вредных веществ из вентилируемых помещений, но и для создания естественного воздухообмена, она должна работать непрерывно. Механические системы работают периодически, то есть когда работают санузлы, ванные комнаты и готовится пища. В остальное

время вентиляторы, вытяжные зонты на кухнях являются дополнительными аэродинамическими сопротивлениями для прохода воздуха.

Для решения этой проблемы предлагается при проектировании и строительстве новых зданий закладывать механические вытяжные системы для местных отсосов на кухнях, механические вытяжки для санузлов и ванных комнат, учитывая, что n -ое количество нагнетателей может работать как в нескольких, так и во всех квартирах одновременно.

Проектирование предлагаемой системы вентиляции заключается в определении сечения каналов и подборе нагнетателей с учётом их количества. Для определения диапазона давлений (точки P_1 и P_2) на примере трёх одинаковых нагнетателей строится график (рис. 2), у которого на напорной характеристике одного нагнетателя отмечается диапазон (точки А и Б), соответствующий значению рабочего КПД ($\eta_{\text{раб}}$), равного 95% максимального (η_{max}). В соответствии с этим на характеристике n параллельно работающих нагнетателей (в данном примере $n=3$) отмечаются точки В и Г, по которым определяется диапазон расходов L_2 и L_1 . По полученной на графике области необходимо осуществлять подбор вентиляторов, учитывая вероятность возможного помпажа.

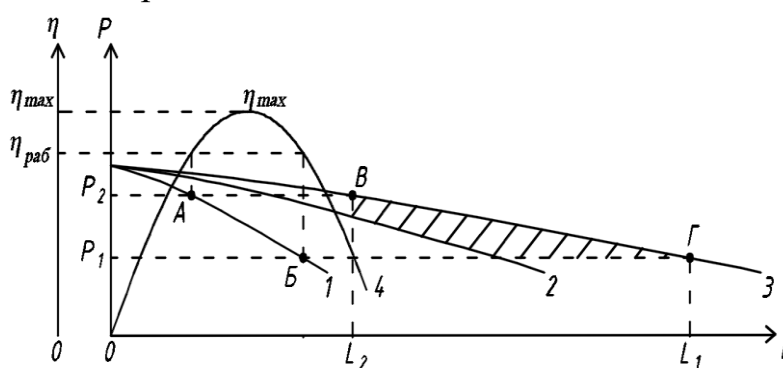


Рис. 2. Характеристика параллельной работы трёх вентиляторов.

Цифрами на рисунке обозначено: 1 – напорная характеристика работы одного вентилятора; 2 – напорная характеристика работы двух вентиляторов; 3 – напорная характеристика работы трёх вентиляторов; 4 – характеристика КПД.

Предлагаемая схема систем вентиляции многоквартирного дома должна иметь системы вытяжной канальной вентиляции на кухне, в санузле и ванной, оснащённые вентиляторами, обратными клапанами, камерами статического давления.

Для организации воздухообмена, обеспечивающего качество воздуха, соответствующего требуемым санитарным нормам, необходимо проектировать отдельную естественную вентиляцию на нормируемые объёмы воздуха, необходимые для дыхания людей. Отдельная от механической естественная система всегда будет обеспечивать требуемый воздухообмен независимо от работы вентиляторов.

Таким образом, можно отметить, что в современных реконструируемых и вновь возводимых многоквартирных жилых зданиях необходимо устраивать параллельно естественной вытяжной канальной вентиляции систему механической вытяжной вентиляции. Расчёт сечения каналов и подбор нагнетателей, необходимо определять исходя из максимального КПД вентилятора и числа нагнетателей, включенных в сеть вентиляционных каналов.

Список используемых источников

1. Хрусталеv Б. М., Куvшинов Ю. Я., Копко В. М. Теплоснабжение и вентиляция.-М: издательство АСВ, 2007.-784 с, 83 ил.

Москвитин С.П., Баршутин С.Н.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТНЫХ ТОКОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СОВМЕСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Аннотация: Представлена энергосберегающая технология производства слоистых электропроводящих материалов с применением импульсного электрического тока высокой плотности, подаваемого непосредственно в зону пластической деформации.

Ключевые слова: композитные материалы, прокатка с током, пластическая деформация, электропластический эффект.

На сегодняшний день уже создано множество различных технологий и способов получения конструкционных материалов для конкретной области применения. Некоторые из технологий требуют сложных технологических операций, другие - высоких энергетических затрат. Одним из примеров может служить создание двухслойных металлических материалов методом холодной прокатки. Здесь предъявляются высокие требования к геометрической форме подката, идущего на изготовление конструкционных материалов, предусматривающие максимальную точность ширины и толщины по всей длине. Различие в ширине базового и плакирующего слоев нарушают устойчивость полос в валах при их совместной прокатки, вызывает образование неплакированных участков, рванин и увеличение потерь при последующей обрезки готового материала. После прокатки в готовом материале возникают внутренние напряжения, для снятия которых применяют энергозатратную операцию отжига в печах в течении долгого времени.

Одним из путей решения возникающих проблем лежит в использовании электропластического эффекта при совместной пластической деформации разнородных металлов. Электрический ток при прохождении через деформируемый участок создает дополнительные эффективные напряжения. Величина их достигает $10^3 \dots 10^4$ Па в зависимости от плотности тока. Действие электронного ветра приводит к снижению противодействующих пластическому течению внутренних напряжений, которые были стопором для дислокаций. Величина пика электропластического эффекта или скачка деформирующего усилия в импульсах тока определяется как разность между дислокационным упрочнением и мгновенным

разупрочнением в результате действия импульса тока, начинающихся в момент $t=0$ и следующих с частотой f . Изменяя длительность и энергию импульсов тока, воздействующего на электропроводящий материал, можно, в результате активизации широкого спектра дислокационных, фазовых и других физических процессов, получить необходимые свойства металлов и сплавов – высокую пластичность при обработке металлов давлением, высокую твердость и износостойкость при обработке инструментальных сталей, снижению пористости и увеличению плотности при спекании порошковых материалов и т.п.

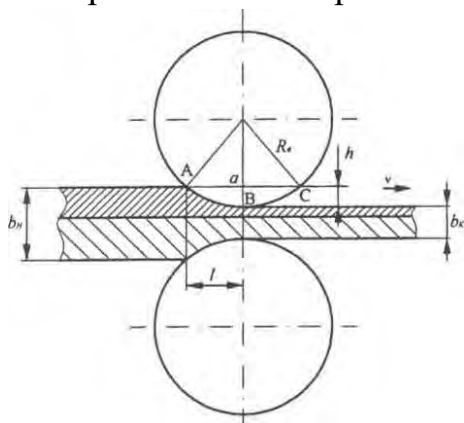


Рис. 1. Схема участка деформации в прокатной клети.



Рис. 2 Несовершенство контакта двух слоев биметалла

Предлагаемый энергоэффективный метод производства биметалла состоит в том, что во время прокатки в зону пластической деформации дополнительно подается импульсный ток высокой плотности с амплитудным значением $J_m = (5...10) \cdot 10^5 \text{ А/см}^2$, частотой следования импульсов – $f = (0,07...2,5) \text{ кГц}$, длительностью импульсов – $t_{имп} = (0,2...5) \cdot 10^{-3}$. При этом каждую область контакта можно рассматривать как отдельное электрическое сопротивление, а общее электрическое сопротивление рассчитывается как параллельное соединение сопротивлений контактов. Поэтому чем больше контактных площадок, тем меньше будет общее сопротивление биметаллов.

Сопротивление контакта слоев биметалла будет определяться как

$$R = \frac{\Delta T \cdot q \cdot \ln \left[\frac{x \cdot T_2}{T_3 \cdot (\sqrt{x^2 + y^2})} \right] \cdot l \cdot b_n \cdot \varepsilon \cdot z}{2\pi \cdot T_2 \cdot (J \cdot l \cdot z)^2 \cdot t_{имп} \cdot xv \cdot (\sqrt{x^2 + y^2} - x)} - \frac{\varepsilon \cdot (\rho_{уд1} h_{исх1} + \rho_{уд2} h_{исх2})}{z \cdot l}. \quad (1)$$

где $R_{общ}$ – электрическое сопротивление участка биметалла, находящегося в зоне пластической деформации, Ом; J – плотность импульсного тока, А/м^2 ; $t_{имп}$ – время действия импульса тока, с; c – удельная теплоемкость, $\text{Вт}\cdot\text{с}/(\text{м}^3\text{К})$, V – объем биметалла, находящийся между валками, в котором происходит пластическая деформация, м^3 , определяют как произведение

площади участка деформации S_{mp} , находящегося между валками, и ширины прокатываемой биметаллической ленты z по формуле; $S = z \cdot l$ – площадь участка биметалла, находящегося в контакте с одним из валков m^2 , z – ширина прокатываемой полосы, м; l – длина участка деформации, м.

В свою очередь будет уменьшаться и термическое сопротивление контактного перехода. При рассмотрении термического сопротивления контакта мы имеем дело как с плоскостным, так и с объемным сопротивлением, зарождающимся в определенной области пространства. Когда равномерно установившийся тепловой поток в теле испытывает возмущение из-за изменения геометрии теплопроводящего пути или из-за несовершенства механического контакта двух поверхностей, то за счет неравномерного распределения плотности тока появляется локальное возрастание температурного градиента. Это явление объясняется тем, что в случае неравномерного теплового потока суммарная длина линий тока, которой пропорционально термическое сопротивление, больше, чем в случае $q = \text{const}$.

Плакирование прокаткой протекает в условиях контактного и межслойного трения, оказывающего значительное влияние на распределения деформаций в слоях прокатываемых металлов. При совместной прокатке разнородных металлов возникает искривление межслойной границы, зависящие от условий трения и параметров прокатки, и шероховатость межслойных поверхностей, которая зависит от степени обжатия, условий межслойного трения, исходной шероховатости заготовок, дробности деформаций и ряда других факторов.

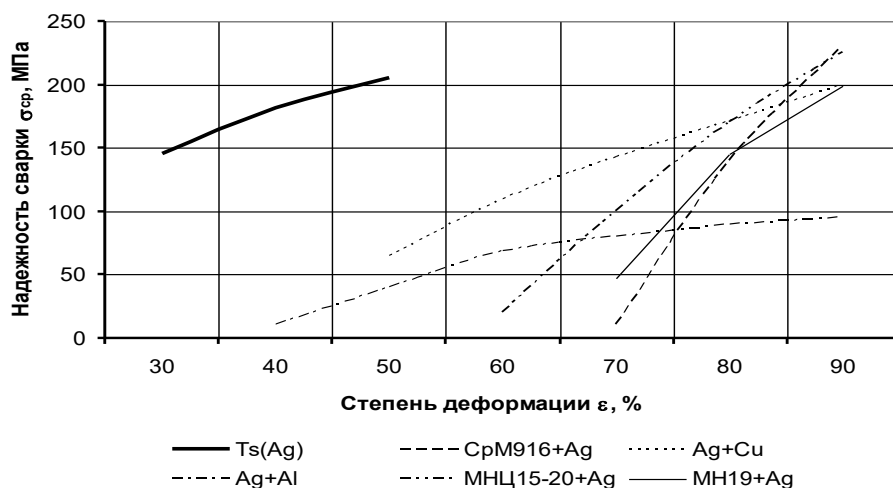
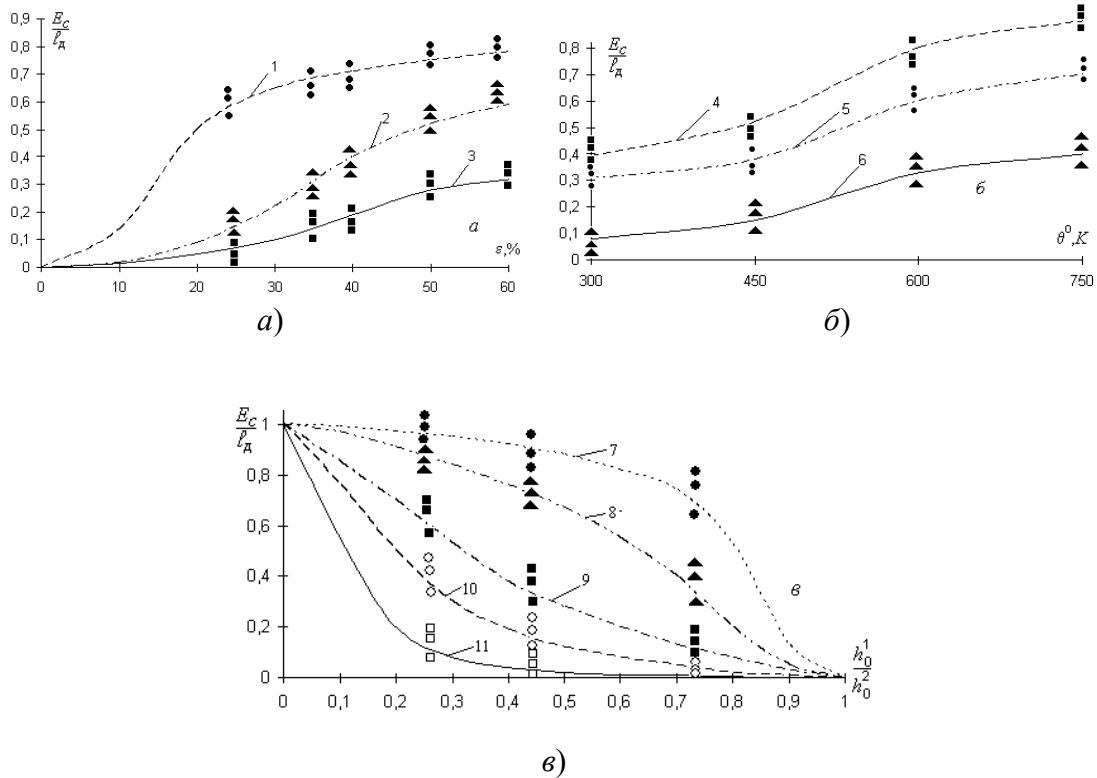


Рис. 3 Зависимость надежности сварки биметаллических полос от обжатия

Теоретические исследования сварки слоев выполнялись с помощью математической модели (E_c – точка сцепления слоев, l_d – геометрический очаг деформации)



a - относительное обжатие, *б* - температура; *в* - соотношение слоев.

1 - $\theta = 713^{\circ}\text{K}$, $h_0^1/h_0^2 = \frac{2}{3}$; **2** - $\theta = 573^{\circ}\text{K}$, $h_0^1/h_0^2 = \frac{1}{3}$; **3** - $\theta = 293^{\circ}\text{K}$, $h_0^1/h_0^2 = \frac{1}{3}$;

4 - $\theta = 50\%$, $h_0^1/h_0^2 = \frac{2}{3}$; **5** - $\varepsilon = 50\%$, $h_0^1/h_0^2 = \frac{1}{3}$; **6** - $\varepsilon = 40\%$, $h_0^1/h_0^2 = \frac{1}{3}$; **7** - $\varepsilon = 50\%$, $\theta = 713^{\circ}\text{K}$, $q = 0,016$; **8** - $\varepsilon = 40\%$, $\theta = 293^{\circ}\text{K}$, $q = 0,016$; **9** - $\varepsilon = 50\%$, $\theta = 713^{\circ}\text{K}$, $q = 0,013$;

10 - $\varepsilon = 50\%$, $\theta = 433^{\circ}\text{K}$, $q = 0,016$; **11** - $\varepsilon = 40\%$, $\theta = 293^{\circ}\text{K}$, $q = 0,013$.

Рис. 4 Влияние параметров процесса на положение точки сцепления слоев при прокатке биметалла.

С помощью математической модели разработана методика оценки диффузии разнородных металлов при прокатке пакета, позволяющая создавать технологии производства многослойных материалов.

Толщины диффузионного слоя для одномерного случая определяются по следующей зависимости

$$p(x,t) = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot D \cdot t}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{4 \cdot D \cdot t}\right), \quad D = D_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (2)$$

где D – коэффициент диффузии; E_a - энергия активации; R – газовая постоянная; t – время взаимодействия; T – абсолютная температура; D_0 - предэкспоненциальный множитель; x – глубина проникновения диффундирующей материи.

Из выражения (2) выразим x

$$x = \sqrt{-4 \cdot D_0 \cdot e^{\frac{E_0}{R \cdot T}} \cdot t_{им} \cdot \ln \frac{P}{1}} \cdot \sqrt{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot D_0 \cdot e^{\frac{E_0}{R \cdot T}} \cdot t}} \quad (3)$$

Численная оценка температуры контактного слоя биметалла медь-сталь и глубину диффузионного проникновения материалов друг в друга показала, что температура в зоне контакта слоев под действием импульсного тока достигает значений порядка 1400°K, при этом толщина слоя проникновения одного материала в другой составляет $d_{сл} = 2,5 \cdot 10^{-5}$ м по всей площади, находящейся в зоне пластической деформации.

Приведенные расчеты могут быть применены и для биметалла сталь-алюминий, при этом образуется физико-механическая смесь алюминия с железом Fe_2Al_7 . Оценка диффузионного слоя алюминий-сталь показывает, что его толщина при указанных параметрах импульсного тока находится также в пределах 35...40 мкм. Это приводит к образованию в контактном слое целого ряда интерметаллических соединений с различным стехиометрическим составом, прочность которого может снижаться до прочности алюминия. Для увеличения прочности сцепления слоев биметалла сталь-алюминий необходимо проводить оцинкование стали, при этом алюминий будет контактировать с цинком, создавая тем самым более прочное соединение с меньшим количеством интерметаллидов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 16-38-00483 мол_a

Список используемой литературы

1. Москвитин, С.П. Метод и система контроля характеристик качества биметалла / С.П. Москвитин, А.П. Пудовкин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2009. Т.15. № 2. С. 315 – 320.
2. Пат. 2356711 Российская Федерация, В 23 К 20/4, В 32 В37/10, 21 В 38/00. Способ изготовления биметалла / С.П. Москвитин, А.П. Пудовкин, Е.Е. Чванов; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2007122210/02 ; заявл. 13.06.07 ; опубл. 27.05.09, Бюл. № 15. – 11 с.
3. Материаловедение: Учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.
4. Дмитриев, О.С. Влияние режимов термообработки на геометрические и механические характеристики углепластиковых трубчатых элементов // О.С. Дмитриев, И.В. Малков / Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2016. Т.22. № 3. С. 427 – 439.

Наумова А.Ю.

**ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРИРОВАННОЙ
КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
АППАРАТНОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ**

Тамбовский государственный технический университет

***Аннотация:** в данной работе рассматривается структурированная кабельная система, её преимущества, а также возможность применения данной системы для повышения надежности аппаратного и программного обеспечения информационно-измерительных систем энергосберегающего управления.*

***Ключевые слова:** структурированная кабельная система, информационно-измерительные системы энергосберегающего управления.*

В настоящее время общая инфраструктура создает множество путей решения проблем, связанных с эффективностью использования аппаратного оборудования и программного обеспечения информационно-измерительных систем энергосберегающего управления (ИИС ЭУ). С точки зрения удобства эксплуатации и качества работы систем такая инфраструктура предпочтительнее набора разнородных проводных и беспроводных сетей, каждая из которых управляется отдельно. Решая все задачи по передаче данных и управлению ими, единая кабельная система позволяет вдвое сократить затраты на установку, а также уменьшить текущие расходы на обслуживание.

Сокращение числа отдельных сетей повышает надежность и время бесперебойной работы. Кроме того, общая инфраструктура является гибкой и адаптируемой, поэтому она позволяет легко заменить или расширить выходящие из строя элементы системы в соответствии с требуемыми параметрами.

Понятие структурированной кабельной системой (СКС) подразумевает кабельную систему, имеющую стандартизованную топологию и структуру и использующую стандартизованные элементы. Кроме того, данная система обеспечивает стандартизованные параметры (такие как скорость передачи данных и др.) и администрируется по определенным стандартам. Кабельные системы, которые не обладают хотя бы одной из

перечисленных выше характеристик, называют исключительными кабельными системами [1,2].

Структурированная кабельная система, построенная на базе протокола *VANet* – сетевого протокола, применяемого в системах автоматизации зданий и сетях управления – обладает рядом преимуществ перед обычными кабельными системами:

- надежность;
- простота использования;
- простота обслуживания;
- гибкость;
- совокупная стоимость владения СКС;
- высокий уровень способности адаптации.

Рассмотрим данные свойства систем более подробно. Все кабельные линии в СКС отвечают требованиям стандартов и являются достаточно прочными по техническим характеристикам за счет использования качественных элементов, что позволяет пользователям и специалистам использовать структурированную кабельную систему более десяти лет. Специалисты, обслуживающие СКС довольно быстро осваивают работу с ней, так как все ССК строятся на основе правил и требований общепринятых стандартов, с определенным типом архитектуры и структуры. Обслуживание ССК гораздо проще осуществлять, чем обслуживание нескольких кабельных систем на объекте или нестандартной кабельной системы. Гибкость в СКС осуществляется за счет разделения кабельной сети на подсистемы и создания фиксированной части кабельных линий. Совокупная стоимость применения СКС имеет продолжительный срок службы и эксплуатации без привлечения каких-либо дополнительных финансовых вложений в течение десяти и более лет. Одним из самых важных преимуществ СКС является использование протокола *VANet*, который способен адаптироваться к новым сетевым технологиям и учитывать потребности пользователей.

Обобщенная кабельная система включает в себя функциональные элементы. Группы этих элементов объединяются в кабельные подсистемы. Обобщенная кабельная подсистема состоит из трех кабельных подсистем:

- магистральная подсистема территории;
- магистральная подсистема здания;
- горизонтальная подсистема.

Объединение трех кабельных подсистем формирует структуру обобщенной сети (рисунок 1).

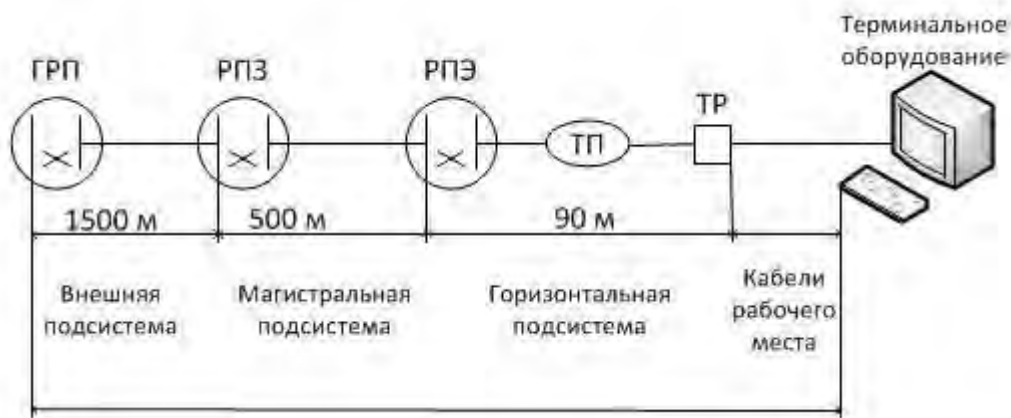


Рисунок 1 – Обобщенная кабельная система

Обобщенная кабельная система имеет структуру иерархической звезды. Количество и тип подсистем, включенных в систему, зависит от географии и размеров территории предприятия, а также от стратегии пользователя [3-9].

Кабельные тракты СКС широко используются для поддержки функционирования ряда специализированного оборудования. Для аппаратного и программного обеспечения ИИС ЭУ не проектируется отдельная СКС, а выделяются специальные линии в составе обычной кабельной системы офисного типа. Характерной особенностью построения СКС для данного типа оборудования является жесткая привязка к архитектурным особенностям области размещения оборудования.

Вывод. Таким образом, применение СКС является простым и удобным (их развертывание и эксплуатация не являются чем-то сверхъестественным) и оно является доступным при обучении технического персонала. Данная система дает множество преимуществ по сравнению с использованием разнородных кабелей и нестандартизированных технологий.

Список использованной литературы

1. Семенов, А.Б. Структурированные кабельные системы / А.Б. Семенов, С.К. Стрижаков, И.Р. Сунчелей. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 232 с.
2. Семенов, А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС / М.: Академия АйТи: ДМКПресс, 2007. – 632 с.
3. Чернышов Н.Г. Задачи энергосбережения на множестве состояний функционирования: Энергосбережение и эффективность в технических системах, 2019. – С. 170-172.
4. Хрипунов В.П. Особенности формирования структуры комплекса технических средств подготовки космонавтов / В.П. Хрипунов, Ю.Т. Зырянов – Цифровая трансформация в энергетике. Материалы Всероссийской научной конференции. 2020. – С. 202-205.

5. Наумова А.Ю. Особенности программной и аппаратной надежности информационно-измерительных и управляющих систем / А.Ю. Наумова, Ю.Т. Зырянов, А.Д. Любимов – Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития. тезисы докладов третьей всероссийской молодежной научной конференции. 2018. – С. 97-98.
6. Зырянов Ю.Т. Вероятностное описание потоков однородных событий для оценки надежности систем энергосберегающего управления / Ю.Т. Зырянов, Д.Ю. Муромцев, А.Н. Грибков. Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т. 2. – С. 339-342.
7. Павлов В.И. Раннее обнаружение начала постепенного изменения свойств случайных процессов / В.И. Павлов, С.В. Артемова, А.Н. Грибков, О.А. Белоусов, М.П. Беляев, Нагорнова И.В. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2020. № 5. – С. 237-246.
8. Селиванова, З. М. Оценка надежности информационно-измерительной системы теплофизических свойств материалов при воздействии дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан: // Надежность и качество сложных систем. – 2016. № 4. – С. 13-19.
9. Чернышова, Т. И. Метод повышения метрологической надежности при проектировании аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т.И. Чернышова, В.В. Третьяков // Надежность и качество сложных систем. 2017. №1(17). – С50-58.

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ
ПОСТРОЕНИЯ ДВУХЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН
ПРИ СИНТЕЗЕ МНОГОЛУЧЕВЫХ
И ВЕЕРНЫХ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ.**

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время применение многозеркальных антенн позволяет включить в число варьируемых факторов характеристики дополнительных зеркал. На практике наибольшее применение нашли двухзеркальные антенны. Принцип действия заключается в преобразовании сферического фазового фронта облучателя в плоский фазовый фронт в раскрыве антенны в результате последовательного переотражения ее от двух зеркал: вспомогательного и основного, имеющих соответствующие профили. [2,3] Изготовление одной крупной двухзеркальной антенны зачастую обходится дешевле, чем изготовление десятков однолучевых зеркальных антенн большего диаметра. [1]

Таким образом, применение нестандартных оптических схем построения двухзеркальных антенн является актуальным, так как этот тип антенн является наиболее распространенным в космической связи и радиоастрономии. С помощью зеркальных антенн удастся создать гигантские антенные сооружения с эффективной поверхностью раскрыва, измеряемой тысячами квадратных метров.

Двухзеркальные антенны применяются по схемам: Кассегрена, Грегори, Драгоне, типа АДЭ, АДГ .

Рассмотрим поподробнее некоторые из них:

1. Двухзеркальная офсетная антенна Кассегрена.

Рефлектор и контррефлектор классических вариантов двухзеркальной антенны типа Кассегрена с вынесенным облучателем получают путем несимметричной вырезки из рефлектора и контррефлектора соответствующей осесимметричной двухзеркальной антенны (рис.1). Способы усечения аналогичны способам усечения однозеркальной офсетной антенны, но чаще всего применяются усечение по контуру равной интенсивности, при котором раскрывы рефлектора и контррефлектора имеют овальную форму . [1]

В гиперboloиде, образованном вращением гиперболы относительно её фокальной оси, любой пучок лучей, выходящих из одного фокуса, после отражения будет казаться входящим из другого фокуса.

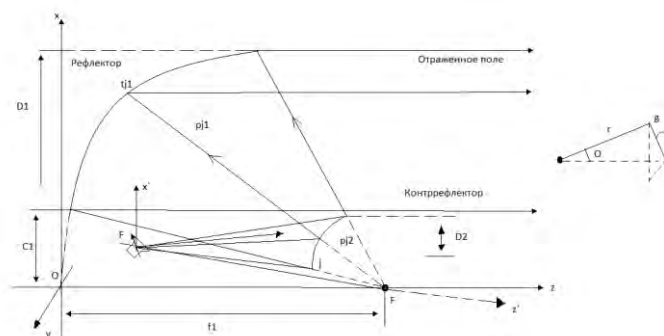


Рисунок 1. Системы координат, используемые при анализе двухзеркальных антенн типа Кассегрена с вынесенным облучателем, где f_1 - фокусное расстояние параболоида, j_1 - угол в направлении ближайшего к фокальной оси края рефлектора, j_0 - угол половины раскрыва параболоида, F, F' - фокус, D_1 - диаметр раскрыва, C_1 - клиренс рефлектора, D_2 - продольный размер контррефлектора.

2. Двухзеркальная офсетная антенна Грегори.

Контррефлектор двухзеркальной антенны типа Грегори имеет форму эллипсоида вращения. Данная поверхность, как и гиперboloид вращения, характеризуется двумя точками фокуса, фокусным расстоянием и эксцентриситетом. Одним из фокусов эллипсоида совмещается с фокусом F параболоида вращения, другой фокус эллипсоида F', совмещается с фазовым центром облучателя. Альтернативными параметрами эллипсоида являются половина расстояния между его фокусами и половина расстояния между его вершинами.

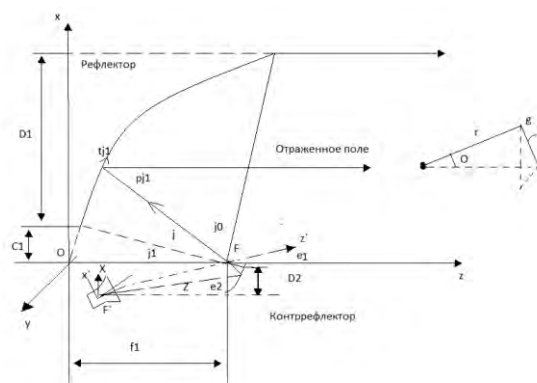


Рисунок 2. Системы координат, используемые при анализе двухзеркальных антенн типа Грегори с вынесенным облучателем, где f_1 - фокусное расстояние параболоида, j_1 - угол в направлении ближайшего к фокальной оси края рефлектора, j_0 - угол половины раскрыва параболоида, F, F' - фокус, D_1 - диаметр раскрыва, C_1 - клиренс рефлектора, D_2 - продольный размер контррефлектора, p - эллипсоид вращения.

При анализе двухзеркальных осесимметричных антенн типа Грегори используются те же системы координат, что и при анализе двухзеркальных осесимметричных антенн типа Кассегрена. Изменения касаются только уравнений контррефлектора, векторов касательных и нормалей к нему.[1]

3. Двухзеркальные офсетные антенны Драгоне.

Наряду с классическими вариантами антенн типа Кассегрена, в которых контррефлектор (гиперболоид вращения или его вырезка) вогнут в сторону большого зеркала, существуют так называемые "неклассические" схемы построения антенн с контррефлектором в виде части гиперболоида вращения. [1] "Неклассические" варианты двухзеркальных антенн типа Кассегрена с вынесенным облучателем часто называют антеннами Драгоне, в работах которого рассмотрена идеология построения многолучевой многозеркальной антенны с минимизированными aberrациями типа астигматизма и комы. В частности, в Драгоне предложил концепт взаимного расположения зеркал в двухзеркальной антенне, отображенный на рисунке 3. Подробнее данные схемы приведены в [1]

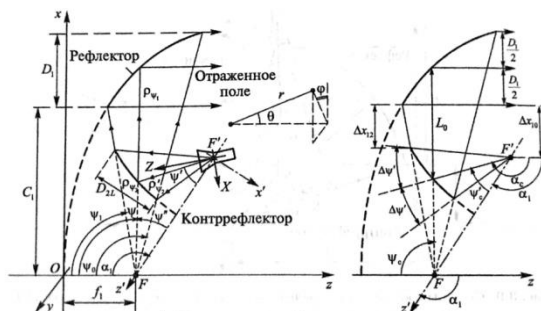


Рисунок 3. Системы координат, используемые при анализе двухзеркальных антенн типа Кассегрена с вынесенным облучателем (вариант FFOC), где f_1 - фокусное расстояние параболоида, j_1 - угол в направлении ближайшего к фокальной оси края рефлектора, j_0 - угол половины раскрытия параболоида, F, F' -фокус, D_1 - диаметр раскрытия, C_1 - клиренс рефлектора, D_2 - продольный размер контррефлектора. [1]

В заключение хочется сказать, что двухзеркальные антенны выполняются, как правило, по двум известным из оптики схемам построения: Кассегрена и Грегори. В таких антеннах основное зеркало представляет собой параболоид вращения. В антенне Кассегрена малое вспомогательное зеркало — гиперболоид вращения, а в антенне Грегори — эллипсоид вращения.

Список используемой литературы

1. Сомов, А.М. Многолучевые зеркальные антенны: геометрия и методы анализа: Учебное пособие / А.М.Сомов, Р.В. Кабетов – М. Горячая линия – Телеком 2019 - 245с
2. Белоусов О.А., Курносков Р.Ю., Горшков П.А., Рязанова А.Г. Синтез цилиндрической фазированной антенной решётки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEEE802.11, IEEE802.16.// Вестник ТГТУ. 2015.№ 21. С. 266-272.
3. Антенны : учебное пособие / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов [и др.]. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 412 с. — ISBN 978-5-8114-5148-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/133478> (дата обращения: 31.05.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Петров В.А. ¹, Толстолугов В.А. ², Казейкин В.С. ³, Крюков Ю.А. ⁴

ЦЕЛЕВОЙ УЧЕБНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС (ЦУОК) ГБУ ВО МО «УНИВЕРСИТЕТ «ДУБНА»

^{1,4}Государственный университет «Дубна» (г. Дубна),

²ООО «ЭкоМИРТ» (г. Москва),

³Экспертный совет ГД по жилищному строительству и ЖКХ
(г. Москва)

***Аннотация:** Работа посвящена особенностям инновационного ЦУОК, обусловленным народнохозяйственной потребностью в высококвалифицированных специалистах по обслуживанию инженерных систем теплогенерации, отопления, горячего водоснабжения, подготовленных на современном научно-техническом уровне, в т.ч. с использованием цифровых технологий.*

***Ключевые слова:** подготовка инженерных кадров, энергосбережение.*

В своем послании к Федеральному Собранию президент РФ В.В. Путин поставил задачу внедрить новые технологии генерации, хранения и передачи энергии. Для этого необходимы, по его мнению, не только финансовые вложения и техническое обеспечение, но и наличие профессиональных кадров, которые смогут управлять этими преобразованиями и проводить их в жизнь, а все это потребует реализацию крупномасштабной Программы по реформированию образовательного процесса путем кардинального технического и технологического перевооружения специалистов, работающих в этой сфере.

Созданный в университете Дубна целевой учебно-образовательный комплекс ЦУОК обеспечивает проведение практических занятий, лабораторных и научно-исследовательских работ по энергосберегающим инновационным технологиям систем отопления, горячего водоснабжения и рекуперации воздухообмена с использованием молекулярного генератора тепловой энергии АТМ-ТЕРМ (ООО «ЭкоМИРТ») [1] с использованием современных цифровых технологий, включая все существующие каналы проводной и беспроводной передачи информации от приборов учета.

В последнее время широко обсуждается такое понятие как «Альтернативная котельная» (далее «Альткотельная»), которая утверждена постановлением Правительства РФ и представляет новый метод расчета тарифов на тепло, когда цена для потребителей определяется не по методу «затраты плюс», а в рамках свободного ценообразования, ограниченного

предельной планкой. Утверждается, что переход на «Альткотельную», по мнению теплоснабжающих организаций, позволит модернизировать и улучшить систему теплоснабжения городов. На этих словах можно ли говорить о снижении оплат для населения? Вот пример: с 1 января 2020 г. при использовании «Альткотельной» рост по Ульяновску составит 2,6%. И в чем здесь энергоэффективность и энергосбережение?

Одновременно Минстроем России предложено внести изменения в Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», в соответствии с которыми Правительством Российской Федерации должны быть утверждены требования энергетической эффективности в отношении зданий, строений, сооружений. Необходимо отметить, что отмена вышеуказанных Постановлений Правительства и приказа Министра РФ неблагоприятно скажется на проведении мероприятий по повышению энергоэффективности зданий и сооружений, а также на достижении целевых показателей по снижению энергоёмкости ВВП России за счет технологического фактора, установленных распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2018 г. № 703-р.

В настоящее время совместно с ГБУВО МО университет Дубна в рамках созданного ЦУОК [2] ведётся детальное исследование процессов, лежащих в основе АТМ-ТЕРМ в рамках этой лаборатории инновационных технологий в области автономной теплоэнергетики и ресурсосберегающих технологий. В состав этой лаборатории входит не имеющий аналогов в мире Тепловой пункт «ТермаРОН» [1]. За создание этой лаборатории и раскрытие принципов получения дополнительной энергии от гидролиза и кавитации воды ГБУВО МО «Университет «Дубна» и ООО «ЭкоМИРТ» в декабре 2019 года награждены почетными дипломами Международной премии «Малая энергетика - большие достижения». В связи с вышеизложенным есть большой интерес специалистов, работающих в сфере энергоснабжения к АТП «ТермаРОН» на различных объектах жилой, социальной, общественной, коммерческой и других сфер деятельности, а также к проведению совместных испытаний АТП «ТермаРОН» в различных условиях его применения. Такие работы в настоящий момент в планах развития запланированы и проводятся совместно с Консорциумом «ГК НОВОТЕХ».

Приведем основные характеристики АТП «ТермаРОН». Источник тепловой энергии в ЦУОК – молекулярный генератор тепловой энергии АТМ-ТЕРМ (или аналог). Расчётный температурный график: а) на отопление $T_1-T_2= 95-70$ °С; б) на горячее водоснабжение 60 °С; расчётная

температура наружного воздуха: $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$; температурный график: $90/70\text{ }^{\circ}\text{C}$; рабочее давление: $0,6\text{ МПа}$; температура холодной воды: $5\text{ }^{\circ}\text{C}$; температура воды на нужды ГВС: $60\text{ }^{\circ}\text{C}$; рабочее давление до $1,6\text{ МПа}$; коэффициент полезного действия 98% ; из 1 кВт электрической энергии достигается получить не менее 3 кВт тепловой энергии (коэффициент преобразования энергии не менее 300%) [2]. В качестве основного источника, обеспечивающего работу АТП, выступает электроэнергия, что обеспечивает функционирование автономного отопления и горячего водоснабжения, в т.ч. в отсутствие центрального отопления и горячего водоснабжения. Основным результатом использования данного оборудования на практике является то, что в результате эксплуатации снижаются оплаты за использование этих ресурсов минимум в 2 раза. Этот результат экономии снижает уровень социальной напряженности в сфере ЖКХ.

ЦУОК предназначен: для проведения практических занятий, лабораторных и научно-исследовательских работ с целью подготовки высококвалифицированных специалистов по обслуживанию инженерных систем отопления, горячего водоснабжения и теплогенерации на современном научно-техническом уровне, для обеспечения комфортного, качественного режима пользования и управления конечным потребителем услугой теплоснабжения в здании общежития (соответствующей нормам СанПиН), для обеспечения генерации теплоносителя с программируемыми параметрами (температура, давление, расход циркуляции) в системе отопления и ГВС, для обеспечения рационального (экономного) потребления тепловой энергии, для обеспечения возможности централизованного управления режимами работы ЦУОК, в т. ч. путём изменения температурных режимов работы системы, для обеспечения защиты систем отопления и ГВС от превышения давления и температуры, в случае аварийных ситуаций, для снижения расходов на производство тепловой энергии и её транспортировку к потребителю, для обеспечения достоверного коммерческого учёта потребляемых энергоресурсов, в том числе при помощи дистанционной передачи данных с использованием всех современных методов. К этим работам в настоящий момент привлечены научные кадры университета Дубна и Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна).

Университет Дубна готов принимать для ознакомления с предлагаемыми технологиями и прохождения обучения и переподготовки и повышения кадров специалистов, работающих в сфере ЖКХ на базе функционирующего Целевого учебно-образовательного комплекса ЦУОК.

Приглашаем всех заинтересованных представителей к совместному сотрудничеству.

Список используемых источников

1. Толстолугов В.А., Казейкин В.С. О молекулярном генераторе тепловой энергии нового поколения АТП-ТермаРОН. // Ежемесячный отраслевой журнал «СОК (Сантехника. Отопление. Кондиционирование. Энергосбережение. Возобновляемая энергетика.)». 2019 г. - № 10 (214), стр. 88-92.
2. Казейкин В.С., Толстолугов В.А., Петров В.А. Энергоэффективность в 2020 году. Новые нормативные акты и новые высокоэффективные технологии // Ежемесячный журнал «Инженерные системы». 2020 г. - № 1, с. 14-20.

Плешкова Е.С., Шаранов А.И.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕСТНОЙ ВЫТЯЖНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В ЦЕХЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)

***Аннотация:** в статье рассматривается реконструкция системы вентиляции цеха ЛКМ для предотвращения уноса сыпучих соединений в атмосферу. Предлагается внедрение в систему плазмотермической установки.*

***Ключевые слова:** местная вытяжная система вентиляции, цех лакокрасочных материалов, плазмотермическая установка.*

При производстве лакокрасочных материалов (ЛКМ) используются различные емкостные аппараты для очистки и отстаивания лака, для смешения его с красящими пигментами, транспортировки и хранения продукта. В процессе производства ЛКМ выделяются летучие и мелкодисперсные (сыпучие) соединения, для их удаления предусматривают различные системы местной вытяжной вентиляции в зависимости от типа удаляемых соединений. Однако в одних и тех же емкостных аппаратах могут происходить технологические процессы с выделением как летучих, так и сыпучих соединений. Переключение между системами вентиляции в таком случае осуществляется в ручном режиме, что приводит к частым ошибкам персонала и уносу сыпучих в атмосферу. Происходит загрязнение прилегающей территории, что не отвечает требованиям экологической безопасности. Для устранения выявленных недостатков требуется модернизация существующей системы вентиляции, которая исключит влияние человеческого фактора и будет полностью удалять летучие и сыпучие элементы безопасно для окружающей среды.

В работе рассматриваются системы местной вытяжной вентиляции для удаления летучих (В1) и сыпучих соединений (В2 и В3) цеха ЛКМ (рисунок 1). Они работают переменного тока, переключение осуществляется персоналом цеха в зависимости от технологического процесса. Однако частая смена процессов и загруженность работников приводит к ошибкам при включении той или иной системы, вследствие чего данные системы работают неэффективно, происходит унос сыпучих соединений и другие неблагоприятные последствия.

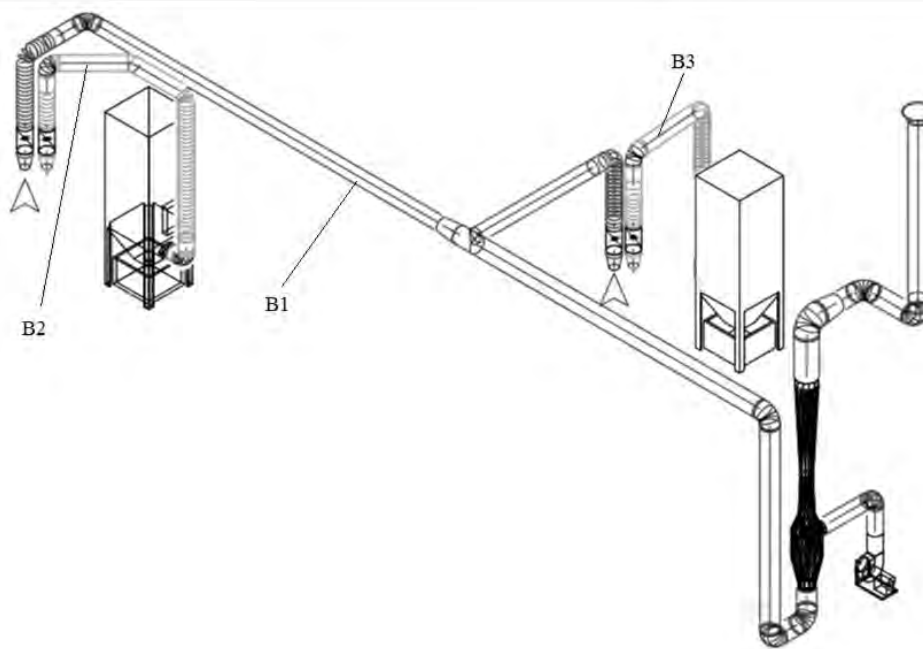


Рисунок 1 - Системы удаления летучих и сыпучих соединений

Одним из решений данной проблемы является интеграция локальных систем местной вытяжной вентиляции в единую систему местной вентиляции с использованием плазмотермической установки для сжигания сыпучих соединений. Схема такой системы представлена на рисунке 2, где 1 - емкостной аппарат, 2 - пылеулавливающая установка, 3 - плазмотермическая установка, 4 - выход синтез-газа.

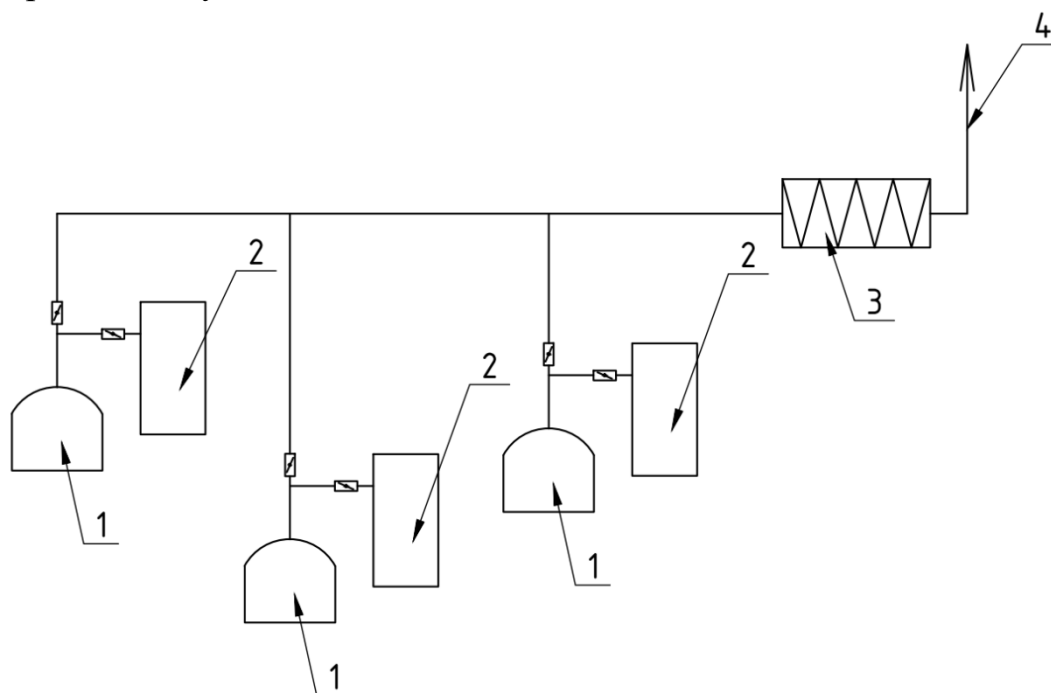


Рисунок 2 - Схема системы удаления летучих и сыпучих соединений с плазмотермической установкой

Плазмотермические установки используются для обезвреживания и переработки отходов. Удаляемые частицы нагреваются до высоких температур, при которых начинается термическое разложение, при недостатке кислорода. Взвешенные частицы подаются непосредственно в плазменную дугу. На выходе из установки образуется синтез-газ - смесь CO, H₂ и других горючих газов.

Такой способ удаления отходов является экологически безопасным и позволяет перерабатывать различные по составу соединения. Кроме того, полученный в установке синтез-газ можно применять в качестве топлива в газовых котлах.

В рассматриваемом в работе цехе ЛКМ суммарный расход вытяжного воздуха от 15 местных систем вентиляции составляет более 18400 м³/ч. Проект по организации вышеизложенной схемы системы удаления летучих и сыпучих соединений с плазмотермической установкой находится в стадии внедрения, так как расчеты показали эффективность данного решения.

Внедрение системы местной вытяжной вентиляции с плазмотермической установкой позволит утилизировать как летучие, так и сыпучие соединения и сократить выбросы в атмосферу загрязняющих веществ. Таким образом, технологические процессы будут полностью соответствовать требованиям экологической безопасности, а использование синтез-газа в котлах при наличии собственной котельной сократит потребление природного газа.

Список используемых источников

1. Плешкова, Е.С. Повышение эффективности работы вентиляционной системы торгового центра [Текст] / Е.С. Плешкова, А.И. Шарапов // Современные проблемы теплоэнергетики: материалы Международной научно-технической конференции. - Липецк, 2019. - С. 146-151.
2. Пешкова, А.В. Проектирование системы вентиляции экипировочного пункта [Текст] / А.В. Пешкова, А.И. Шарапов, К.А. Нитченко // Летняя школа молодых ученых ЛГТУ-2017: сб. науч. тр. научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. - Липецк, 2018. - С. 118-120.
3. Мякотина, Е.Ю. Энергосберегающие технологии в механической системе вентиляции [Текст] / Е.Ю. Мякотина, А.И. Шарапов, А.В. Пешкова // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах: тезисы докладов 3-ей Международной конференции с элементами научной школы. – Тамбов, 2016. – С. 104-105.
4. Sharapov, A.I. Increase of energy efficiency of the mechanical ventilation system [Текст] / A.I. Sharapov, E.Y. Myakotina, Y.V. Shatskikh, A.V. Peshkova // IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE: The conference proceedings. – Владивосток, 2019. – С. 022218.

Ростовцева И. А.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ КАМЧАТКИ

Самарский государственный технический университет (г. Самара)

***Аннотация:** Все более актуальна становится идея использования нетрадиционных источников энергии. В данной статье рассматривается возможность использования геотермальных ресурсов Камчатки для теплоснабжения близлежащих населенных пунктов и их рентабельность.*

***Ключевые слова:** геотермальные ресурсы, вынос тепла, тепло-снабжение.*

Геотермальные ресурсы, рекомендованные к разведке и разработке геотермальных месторождений, составляют 550-1130 МВт, из них используется только 13% [1]. Ресурсы низкотемпературных систем оцениваются в 1340 МВт. Из них около 100 МВт идет на обогрев термальными водами различной температуры жилых и административных зданий, теплиц и плавательных бассейнов. В настоящее время разрабатывается проект геотермального теплоснабжения Елизовского района. Перспективным для строительства новых ГеоЭС является, прежде всего, Мутновское месторождение, ресурсы которого позволяют увеличить мощность существующих станций до 250-460 МВт, а также высокотемпературные гидротермальные системы: Паужетская, Кошелевская, Больше-Баная, Семячичская, Киреунская.

Характерными чертами геотермических условий Камчатки являются регионально повышенный тепловой поток и широкое развитие локальных термоаномалий. На Камчатке выделяют три крупных гидрогеологических массива: Центральный, Восточный и полуостров восточного побережья. На Камчатке выделено пять геотермальных провинций, в которых насчитывается около 150 групп термальных источников, в том числе 11 высокотемпературных гидротермальных систем [2].

В Северо-Камчатской геотермальной провинции отмечено 16 групп термальных источников с различной температурой. Максимальная температура воды (75-95 °С) зафиксирована в Паланских и Русаковских источниках. Общий вынос тепла составляет около 80 МВт.

В Средне-Камчатской провинции расположено 26 групп термальных источников, в том числе две группы кипящих (Киреунские, Анапельские). Общий вынос тепла гидротермами составляет более 60 МВт. В этой

провинции эксплуатируются в настоящее время только два месторождения с температурой в недрах менее 150 °С – Эссовское, Анавгайское – для теплоснабжения поселка Эссо и теплиц.

В Восточно-Камчатской геотермальной провинции отмечается 52 группы термальных источников, большая часть которых расположена в Восточно-Камчатском вулканическом поясе. Среди них выделяются кипящие источники и паровые струи поверхностных проявлений крупных гидротермальных систем: Узонской, Гейзерной, Семячинской, каждая из которых выносит 268, 321 и 314 МВт соответственно. Общий вынос тепла гидротермами достигает почти 1250 МВт. В провинции исследованы буровыми скважинами три низкотемпературных месторождения: Пуцинское, Налычевское и Пиначевское.

В Южно-Камчатской геотермальной провинции насчитывается 55 разнообразных по форме термопроявлений, в том числе связанные с высокотемпературными гидротермальными системами: Мутновской, Больше-Банной, Паужетской, Кошелевской. Общий вынос тепла разгружающимися термальными водами составляет около 920 МВт.

Гидротермальные системы Южно-Камчатской провинции наиболее изучены с помощью буровых скважин, а выделенные на основе разведки геотермальные месторождения обеспечивают прямое использование геотермальных ресурсов и работу ГеоЭС. Прежде всего, это Паужетское и Мутновское месторождения. На базе первого с 1967 года функционирует Паужетская ГеоЭС, установленная мощность которой ныне составляет 11 МВт. На двух участках Мутновского месторождения работают Верхне-Мутновская и Мутновская ГеоЭС с установленной мощностью 12 и 50 МВт соответственно. Еще на двух месторождениях в пределах высокотемпературных систем: Больше-Банном и Ниже-Кошелевском проводилось разведочное бурение, однако, полное исследование геотермальных резервуаров для возможного строительства ГеоЭС не завершено. Из пяти разведанных низкотемпературных месторождений здесь эксплуатируются три: Паратунское, Малкинское и Начикинское. Причем Паратунское месторождение обеспечивает работу довольно крупного тепличного комбината и систему теплоснабжения населенных пунктов. Гидротермы Камчатки в целом выносят около 2314 МВт тепла, причем 1782 МВт тепла (77%) составляет тепловая разгрузка высокотемпературных гидротермальных систем[3].

За пределами развития современных поверхностных термопроявлений в структурных депрессиях получили распространение пластовые термальные воды, нагревающиеся кондуктивным тепловым потоком. Площади их формирования выделены В.И. Кононовым и В.М. Сугробовым в

отдельную геотермальную провинцию – крупные структурные депрессии. Она объединяет Западно-Камчатский прогиб, Корякско-Авачинскую депрессию и другие более мелкие депрессии.

Для оценки геотермальных ресурсов гидротермальные конвективные системы разделялись условно на высокотемпературные (температура в недрах более 150 °С) и гидротермальные системы с температурой в недрах менее 150 °С. Соответственно этому делению классифицировались геотермальные месторождения, связанные с гидротермальными системами. Прогнозные геотермальные ресурсы как доступные базовые оценивались преимущественно по данным наземных исследований термоаномалий. Это обстоятельство определяет их величину и качество как предполагаемых возможных ресурсов.

Подсчет прогнозных геотермальных ресурсов по естественной тепловой нагрузке с увеличивающим эмпирическим коэффициентом, равным 4, предполагает эксплуатацию в течение 30-100 лет без существенного изменения качества теплоносителя. При расчете прогнозных ресурсов Паужетской гидротермальной системы тепловая мощность по сумме выноса тепла естественными термопроявлениями составила 104 МВт. Увеличивая данный показатель в четыре раза и вводя коэффициент перехода в полезную работу тепловой энергии на устье скважин (0,23), переводя ее в электрическую энергию (0,4), получили прогнозную электрическую мощность – 38МВт.

Величины потенциала электрической энергии таким же образом были подсчитаны для других высокотемпературных систем Камчатки. Прогнозные геотермальные ресурсы высокотемпературных гидротермальных систем эквивалентны 550 МВт электрической мощности.

Удельная теплоемкость пород, насыщенных водой и паром и представленных, главным образом, вулканитами и вулканогенно-осадочными породами, принималась равной 2,7 Дж/см³°С, а отношение тепловой энергии резервуара к полезной работе – 0,057 и 0,061, соответственно для резервуаров со средней температурой 200 и 220°С. Коэффициент электрического использования для горячеводных систем равен 0,4 и для пародоминирующих – 0,5.

Делая вывод, получаем, что общий вынос тепла гидротермами Камчаткив естественных условиях составляет 2300 МВт, в том числе высокотемпературных гидротермальных систем – 1780 МВт. Величина выноса тепла соответствует постоянно возобновляемым геотермальным ресурсам, увеличение которых возможно при вскрытии глубоких горизонтов скважинами. Прогнозные геотермальные ресурсы высокотемпературных месторождений Камчатки с учетом накопленной тепловой энергии и ко-

эфициента увеличения тепловой мощности резервуаров эквивалентны получению 965-1775 МВт.

К тому же для Камчатского края ГеоЭС имеют безусловное преимущество перед ТЭЦ и дизельными станциями, работающими на привозном топливе. Поэтому развитие геотермальной энергетики позволит полностью решить проблему тепло- и электроснабжения Камчатки.

Библиографический список

1. «Эксплуатация Верхне-Мутновской ГеоЭС» // Энергосбережение. – 2005. - №4.
2. «Геотермальная энергетика – это будущее Камчатки» // Наш регион – Дальний Восток. – 2019. - №02-03(144).
3. «Геотермальные ресурсы Камчатки и ближайшие перспективы их освоения» // Вулканология и сейсмология. – 2019. - №6.

Скворцов А.А.

О РАСЧЕТЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШИРОКОПОЛОСНОСТИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА С ЦЕНТРАЛЬНЫМ СИММЕТРИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А., (г. Саратов)*

***Аннотация:** Рассмотрена методика оценки полосы одноволнового режима работы прямоугольного волновода с центральным симметричным расположением диэлектрического слоя. Приводится сравнение результатов квазианалитического расчета коэффициента широкополосности рассматриваемой направляющей системы с известными численными данными, показавшее их достаточно хорошее согласование*

***Ключевые слова:** квазианалитический расчет, коэффициент широкополосности, прямоугольный волновод, диэлектрический слой, эффективная диэлектрическая проницаемость*

Интерес к исследованию диапазонных свойств прямоугольного волновода (ПрВ) с центральным симметричным расположением слоистого диэлектрического материала (рис. 1) связан с его широким практическим использованием в качестве базовых элементов таких узлов волноводного тракта, как фазовращатели, аттенюаторы, замедляющие системы, шлейфовые разветвления, рабочие камеры СВЧ-устройств для термообработки диэлектрических материалов и ряда других [1–5]. Поскольку СВЧ-устройства, выполненные на основе рассматриваемой направляющей системы (НС) функционируют, в большинстве случаев, на основной волне, важный практический интерес представляет оценка полосы одноволнового режима работы ПрВ с центральным симметричным расположением диэлектрического слоя, определяемая коэффициентом широкополосности:

$$\xi = \frac{\lambda_{c1}}{\lambda_{c2}}, \quad (1)$$

где λ_{c1} и λ_{c2} – критические длины основной и первой высшей волн анализируемой линии передачи (ЛП).

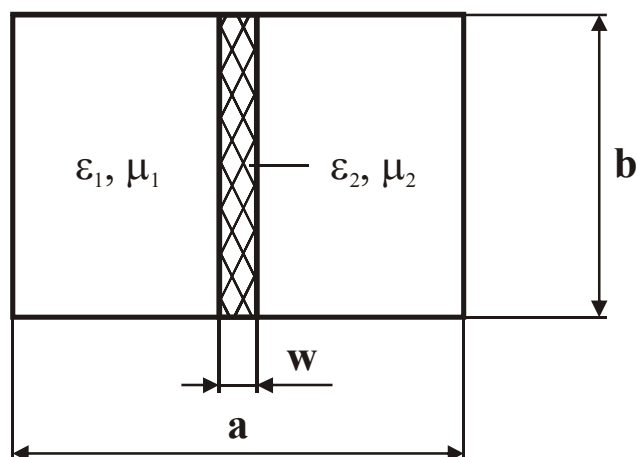


Рис. 1. Поперечное сечение ПрВ с центральным симметричным расположением диэлектрического слоя

Как известно, критические длины основной и первой высшей волн ПрВ с центральным симметричным расположением диэлектрического слоя ($\varepsilon_1 < \varepsilon_2$), границы раздела сред которого расположены параллельно силовым линиям напряженности поперечного электрического поля, можно рассчитать исходя из замены его на эквивалентную НС, заполненную однородным диэлектриком, по формулам [6]

$$\lambda_{c1} = 2a \sqrt{\varepsilon_{\text{эффН}_{10}} \mu}, \quad (2)$$

$$\lambda_{c2} = a \sqrt{\varepsilon_{\text{эффН}_{20}} \mu}, \quad (3)$$

в которых

$$\varepsilon_{\text{эффН}_{10}} = \varepsilon_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \frac{w}{a} \left(1 + \frac{\sin(\pi w/a)}{\pi w/a} \right), \quad (4)$$

$$\varepsilon_{\text{эффН}_{20}} = \varepsilon_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \frac{w}{a} \left(1 - \frac{\sin(2\pi w/a)}{2\pi w/a} \right) \quad (5)$$

– относительные эффективные диэлектрические проницаемости неоднородного заполнения для основной и первой высшей волн ПрВ; ε_1 и ε_2 – относительные диэлектрические проницаемости слоистого заполнения рассматриваемой ЛП.

В результате после подстановки соотношений (2)–(5) в выражение (1) коэффициент широкополосности ПрВ с центральным симметричным расположением диэлектрического слоя, определяющий диапазон его одноволновой работы, можно рассчитать по формуле [5]

$$\xi = 2 \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{эффН}_{10}}}{\varepsilon_{\text{эффН}_{20}}}} = 2 \sqrt{\frac{\varepsilon_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \left(1 + \text{sinc}(\pi w/a) \right) w/a}{\varepsilon_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \left(1 - \text{sinc}(2\pi w/a) \right) w/a}}, \quad (6)$$

из которой следует, что при любых значениях ε_1 и ε_2 ($\varepsilon_1 < \varepsilon_2$)

$$\xi = 2 \text{ при } w = 0 \text{ или } w = a. \quad (7)$$

По формуле (6) проведен квазианалитический расчет (КР) коэффициента широкополосности ПрВ при различных значениях геометрических размеров и электрофизических параметров слоистого диэлектрического заполнения. Для подтверждения правильности осуществленного выше КР было проведено сопоставление его результатов с известными численными данными. В качестве примера такого сопоставления на рис. 3 представлены результаты расчетов ξ ПрВ ($a = 90$ мм; $b = 45$ мм; $\varepsilon_1 = \mu_1 = \mu_2 = 1$), полученные по формуле (6) и в работе [7] при различных значениях w и ε_2 . Из рис. 3 видно, что расхождение значений $\xi(w, \varepsilon_2)$, полученных по формуле (6) и в работе [7], уменьшается в области минимального ($\varepsilon_{\text{эфф}} \approx \varepsilon_1$) и максимального ($\varepsilon_{\text{эфф}} \approx \varepsilon_2$) заполнения ПрВ диэлектрическим материалом, определяемого размером w .

Для более детального анализа поведения коэффициента широкополосности ПрВ была исследована его зависимость от нормированного размера w/a при $\varepsilon_1 = \mu_1 = \mu_2 = 1$, графики которой представлены на рис. 2. Из рис. 2 следует, что в отличие от ПрВ, заполненного однородным диэлектрическим материалом, коэффициент широкополосности анализируемой НС $\xi > 2$ при $0 < w/a < 1$. При этом графики зависимости $\xi(\varepsilon_2, w/a)$ при фиксированных значениях ε_2 имеют максимумы, которые с увеличением ε_2 смещаются в область меньших значений w/a . Необходимо также отметить, что коэффициент широкополосности в зависимости от ε_2 наиболее сильно изменяется при $w/a \leq 0,3$ и практически не изменяется при $w/a \geq 0,5$. Объясняется это тем, что при малых значениях w/a диэлектрический слой располагается в максимуме поперечной электрической составляющей поля основной волны и минимуме поперечной электрической составляющей поля первой высшей волны [8]. Из вышесказанного следует, что проанализированное слоистое диэлектрическое заполнение в установленном интервале значений w/a существенно увеличивает критическую длину основной волны и расширяет диапазон одноволновой работы, мало влияя на критическую длину первой высшей волны.

Таким образом, проведенные выше исследования позволили установить в явном виде квазианалитическую зависимость коэффициента широкополосности ПрВ от его геометрических размеров и электрофизических свойств слоистого диэлектрического заполнения, что может быть с успехом использовано при разработке СВЧ-устройств различного назначения, выполненных на основе рассматриваемой ЛП.

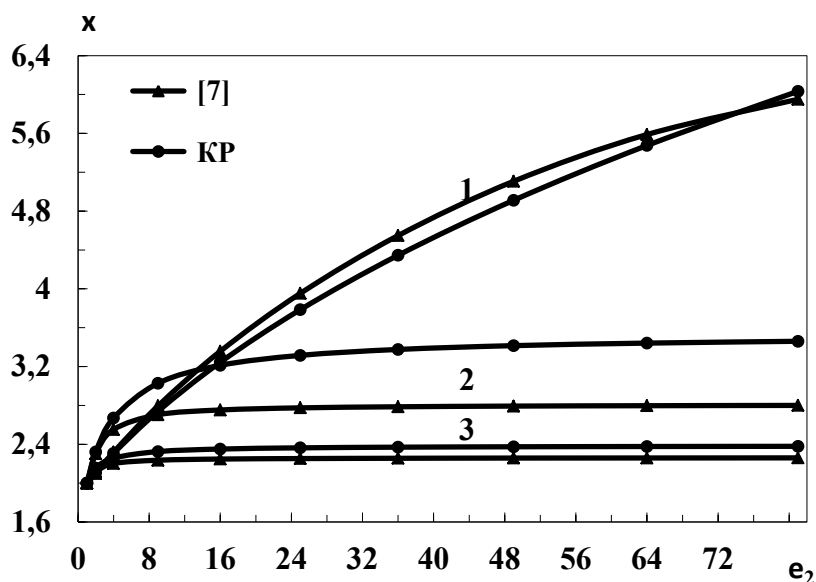


Рис. 2. Зависимость коэффициента широкополосности ПрВ от ϵ_2 при различных значениях w : 1 – $w=5$ мм; 2 – $w=30$ мм; 3 – $w=50$ мм

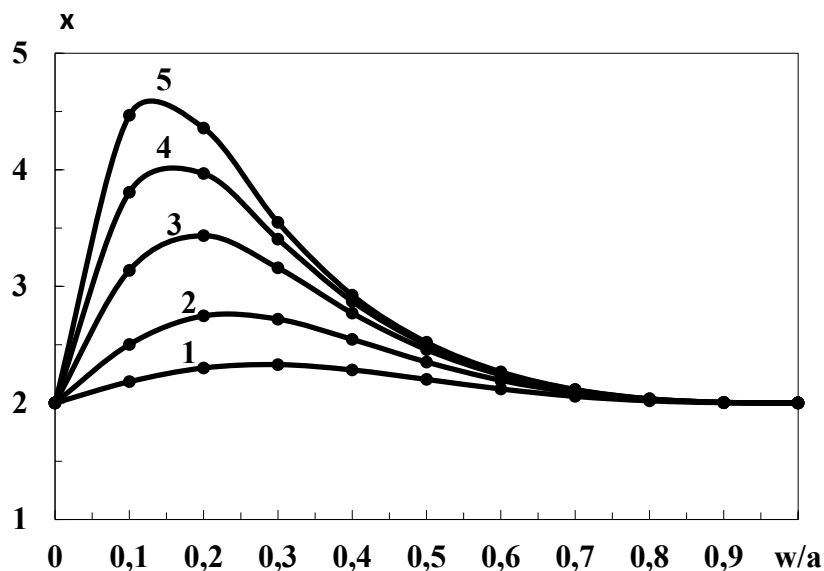


Рис. 3. Зависимость коэффициента широкополосности ПрВ от w/a при различных значениях ϵ_2 : 1 – $\epsilon_2=2$; 2 – $\epsilon_2=4$; 3 – $\epsilon_2=9$; 4 – $\epsilon_2=16$; 5 – $\epsilon_2=25$

Список используемых источников

1. Коломейцев, В. А. Микроволновые системы с равномерным объемным нагревом. Ч.1. / В. А. Коломейцев, В. В. Комаров. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1997. – 160 с.
2. Сатаров, И. К. Микроволновые устройства с бегущей волной для термообработки диэлектрических материалов / И. К. Сатаров, В. В. Комаров. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2000. – 119 с.
3. Архангельский, Ю. С. СВЧ-электротермия / Ю. С. Архангельский. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1998. – 408 с.

4. Сосунов, В. А. Ответвитель с изменяющейся критической длиной волны вторичного волновода / В. А. Сосунов, А. А. Скворцов // Функциональные электродинамические системы и устройства, линии передачи СВЧ: межвуз. научн. сб. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1999. – С. 45–48.
5. Скворцов, А. А. Применение прямоугольных волноводов с неоднородным диэлектрическим заполнением в качестве элементов связи СВЧ-устройств / А. А. Скворцов // Вопросы электротехнологии. – 2017. – № 4. – С. 64–68.
6. Манойлов, В. П. Розрахунок хвилеводів з частковим діелектричним заповненням / В. П. Манойлов, В. В. Чухов // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2006. – № 33. – С. 91–100.
7. Баринов, Д. А. Собственные электродинамические параметры прямоугольного волновода с диэлектрической пластиной, расположенной в центре широкой стенки волновода / Д. А. Баринов, Д. В. Гапонов, В. А. Коломейцев, С. А. Тасканов // Вопросы электротехнологии. – 2017. – № 1. – С. 107–114.
8. Бергер, М. Н. Прямоугольные волноводы с диэлектриками / М. Н. Бергер, Б. Ю. Капилевич. – М.: Сов. радио, 1973. – 256 с.

Скоморохов К.В., Майоров М.А.

АНАЛИЗ ИСКАЖЕНИЙ ВИБРАТОРНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В СУБМИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов),

Аннотация: в данной работе представлен аналитический подход к изучению искажений совмещенных вибраторных фазированных антенных решеток в субмиллиметровом диапазоне частот. Рассмотрены возможные источники и причины искажений, а также дифракция поля антенны на периодической структуре проводников.

Ключевые слова: Фазированная антенная решетка, сверхширокополосный излучатель, субмиллиметровый диапазон частот.

В современном мире используются многие диапазоны частот, которые в свою очередь имеют свою загруженность канала, что подталкивает исследователей к освоению новых диапазонов частот. Один из таких диапазонов – субмиллиметровый [1, 2].

Рассмотрим двухчастотную совмещенную вибраторную антенную решетку с одинаковой линейной поляризацией на обеих частотах. Допустим, что апертура верхней вибраторной решетки больше или равна апертуре нижней антенной решетки, заметим, что апертура верхней ВАР полностью перекрывает нижнюю. В качестве нижней решетки может выступать вибраторная, волноводная или щелевая антенная решетка. Соотношение частот совмещаемых антенн может быть произвольным. Однако наиболее целесообразные методы расчета существенно зависят от соотношения частот.

В раскрые антенны (лежащем в плоскости ОХУ) известно распределение касательных составляющих электрического E_t и магнитного H_t полей. Электрическое E - и магнитное H - поля, создаваемые электрическим полем в раскрые E_t , имеют следующее представление в виде углового спектра плоских волн:

$$\begin{aligned} E(r) &= \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} F(k_x, k_y) e^{-j(kr)} dk_x k_y, \\ H(r) &= \frac{1}{4\pi^2 k W_0} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} [k \times F] e^{-j(kr)} dk_x k_y, \end{aligned} \quad (1)$$

где $k = k_x x_0 + k_y y_0 + k_z z_0$; $|k| = k = 2\pi / \lambda$; $W_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0} = 120 \pi$.

$F(k_x, k_y)$ зависит от тангенциальной составляющей электрического поля $E_r(x, y)$ и определяется соотношениями

$$F(k_x, k_y) = F_r(k_x, k_y) - \frac{(k_r F_r)}{k_z} z_0, \quad (2)$$

$$F_r(k_x, k_y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} E_r(x, y) e^{j(k_x x + k_y y)} dx dy, \quad (3)$$

В частном случае, если, раскрыв антенны окружен бесконечным плоским идеально проводящим экраном, область интегрирования совпадает с площадью апертуры А:

$$F_r(k_x, k_y) = \iint_A E_r(x, y) e^{j(k_x x + k_y y)} dx dy, \quad (4)$$

Рассмотрим дифракцию поля антенны на периодической структуре проводников.

Для начала стоит выделить, что при падении на периодическую структуру из бесконечно длинных проводников произвольного поперечного сечения плоской Е-поляризованной волны единичной амплитуды под углом α в плоскости YOZ электрическое и магнитное поля за структурой и перед ней имеют вид:

$$\begin{aligned} E_x^2(y, z, \alpha) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n^E(\alpha) e^{j(\gamma_n z - h_n y)}, \\ H_y^2(y, z, \alpha) &= \frac{1}{\omega \mu_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n^E(\alpha) \gamma_n e^{j(\gamma_n z - h_n y)}, \\ H_z^2(y, z, \alpha) &= \frac{1}{\omega \mu_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n^E(\alpha) h_n e^{-j(\gamma_n z - h_n y)}, \\ E_x^1(y, z, \alpha) &= e^{k(-y \sin \alpha + z \cos \alpha)} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n^E(\alpha) e^{j(\gamma_n z - h_n y)}, \\ H_y^1(y, z, \alpha) &= \frac{1}{\omega \mu_0} \left[k \cos \alpha e^{ik(-y \sin \alpha + z \cos \alpha)} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n^E(\alpha) \gamma_n e^{-j(\gamma_n z - h_n y)} \right], \\ H_z^1(y, z, \alpha) &= \frac{1}{\omega \mu_0} \left[k \sin \alpha e^{jk(-y \sin \alpha + z \cos \alpha)} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n^E(\alpha) h_n e^{-j(\gamma_n z - h_n y)} \right], \end{aligned} \quad (5)$$

где $h_n = k[n/(d/\gamma) + \sin \alpha]$; $\gamma_n = \sqrt{k^2 - h_n^2}$; d – период структуры.

Коэффициенты прохождения через периодическую структуру $b_n^E(\alpha)$ и отражения от нее $a_n^E(\alpha)$ зависят от угла падения α , величины и формы поперечного сечения проводников и расстояния между соседними проводниками [3, 4].

Соответственно при дифракции Н-поляризованной волны поле за структурой и перед ней имеет вид:

$$H_y^2(y, z, \alpha) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n^H(\alpha) e^{j(\gamma_n z - h_n y)},$$

$$E_z^2(y, z, \alpha) = \frac{1}{\omega \varepsilon_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n^H(\alpha) h_n e^{-j(\gamma_n z - h_n y)}, \quad (7)$$

$$H_x^1(y, z, \alpha) = e^{k(-y \sin \alpha + z \cos \alpha)} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n^H(\alpha) e^{j(\gamma_n z - h_n y)},$$

$$E_z^1(y, z, \alpha) = \frac{1}{\omega \mu_0} \left[k \sin \alpha e^{jk(-\gamma \sin \alpha + z \cos \alpha)} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n^H(\alpha) h_n e^{-j(\gamma_n z - h_n y)} \right], \quad (8)$$

С физической точки зрения выражения (5) и (6) для прошедшего и отраженного от решетки полей представляют собой разложение этих полей по системе плоских волн с комплексными амплитудами b_n и a_n , распространяющихся соответственно под углами

$$\theta_n = \theta_n^+ = \arcsin \left[\frac{n}{d/\lambda} + \sin \alpha \right], \quad (9)$$

где углы θ_n, θ_n^+ - углы, отсчитываемые соответственно от отрицательного и положительного направлений оси OZ [5].

В конечном счете задача определения максимальных искажений, вносимых низкими частотами верхней вибраторной антенной решеткой в характеристики направленности высоких частот нижней антенной решетки с известным распределением поля в раскрыве, что сводится к использованию результатов расчетов задачи дифракции плоских волн на периодических структурах. Так же стоит сказать, что в случае одинаковых поляризаций обеих решеток основной вклад в искажение характеристик нижней антенной решетки дают токи, наводимые полем нижней антенной решетки на плечах вибраторов верхней вибраторной антенной решетки. Поэтому предложенные аналитические выражения способствуют оценке искажений при проектировании антенных структур в субмиллиметровом диапазоне частот, все это способствует более полному и точному освоению данного диапазона частот.

Список используемых источников

1. Братчиков А.Н., Васин В.И., Василенко О.О. и др. Активные фазированные антенные решетки / Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004. - 488 с.
2. Зелкин Е.Г., Соколов В.Г. Методы синтеза антенн. - М.: Сов. радио. - 1980. - 296 с.

3. Белоусов О.А., Рязанов Е.В., Колмыкова А.С., Дякин А.И. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны // Журнал «Программные продукты и системы», 2018. №4 С.757-762
4. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. М.: Радиотехника, 2012.–744 с.
5. Белоусов О.А., Курносков Р.Ю., Горшков П.А., Рязанова А.Г. Синтез цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEEE802.11, IEEE802.16. // Вестник ТГТУ. 2015.№ 21. С. 266-272.

Слинин С.И.¹, Симбаев А.Н.¹, Зырянов Ю.Т.²

АДАПТАЦИЯ АППАРАТА ГИБРИДНЫХ НЕЙРО-НЕЧЁТКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

¹«НИЦ ЦНИИ ВВС» (г. Щелково),

²Тамбовский государственный технический университет

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы целесообразного применения и адаптации аппарата гибридной нейро-нечёткой сети для решения задачи классификации наземных объектов по изображению в вычислительной системе робототехнического комплекса.

Ключевые слова: робототехнический комплекс, классификация наземных объектов, гибридная нейро-нечёткая сеть.

В настоящее время развитие технологий робототехники (РТК) способствует формированию новых технических систем компьютерного зрения, как одного из существенных направлений эргатических систем. Предлагаемые гибридные нейро–нечёткие сети (ГННС) [1] используются для решения задач автоматизации распознавания образов, принятия решений в системах технического зрения (СТЗ), и управления сложными объектами. Для успешного проведения классификации наземных объектов (НО) целесообразно использовать ГННС [1,3] для обработки изображений, полученных СТЗ.

Одним из методов моделирования обнаружения и классификации НО является описание указанных процессов нечёткими базами знаний (НБЗ). НБЗ воплощают в себе описание этих связей на естественном языке с применением теории нечётких множеств и лингвистических переменных (ЛП) [1,2]. В ГННС логические выводы делаются с помощью аппарата нечёткой логики, а соответствующие функции принадлежности (ФП) настраиваются с помощью алгоритма обучения нейронных сетей – обратного распространения ошибки (ОРО) [2,3].

Основной подсистемой модуля обнаружения и классификации НО является система нечёткого вывода с выходной переменной дискретного типа (рис.1). Нечёткий логический вывод является аппроксимацией зависимости «входы – выход» на основе лингвистических высказываний «ЕСЛИ–ТО» и логических операций над нечёткими множествами [1,2].

Используемая вариация нейро–нечёткого вывода с дискретным выходом может использоваться для классификации НО.

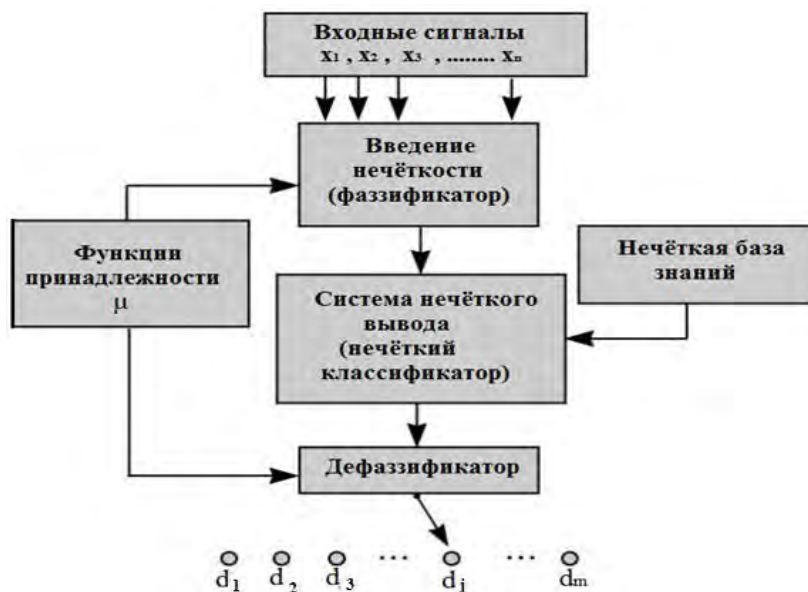


Рисунок 1 – Система нечёткого вывода для классификации наземных объектов

Между изображениями классифицируемых объектов и непосредственно НО существует взаимно однозначное соответствие, следовательно, наборы изображений НО могут быть использованы для их классификации. Поэтому для построения НБЗ (рис.1) нужно использовать изображения НО, о которых известно с определенной (большой) вероятностью принадлежность к одному или другому классу объектов. Поскольку система нечёткого вывода (рис.1) для решения задачи классификации реализуется как отношение входных параметров к значению эталонного образца из базы знаний, эта нечёткая база знаний определяется как:

$$\left(\bigcap_{i=1}^n x_i = x_i^{mj} \right) \rightarrow y = y_j ;$$

где \bigcap – операция t-нормы, то степень принадлежности НО эталонному образцу определяется как:

$$\mu_j(x) = \bigcap_i^n \mu_{ji}(x_i) ;$$

где $\mu_{ji}(x_i)$ – степень принадлежности i-го параметра классифицируемого объекта j-му параметру эталонного объекта.

В качестве решения задачи классификации НО выбирается решение с максимальной степенью функции принадлежности [3]:

$$y^* = \arg_{y_1, y_2, \dots, y_k} \max[\mu_1(x^*), \mu_2(x^*), \dots, \mu_k(x^*)].$$

Далее систему нечёткого вывода агрегируем с ИНС. В результате получается ГННС типа АНФИС (рис.2) [2,3], настраиваемыми параметрами которой являются параметры ФП – $\mu_{ji}(x_i)$.

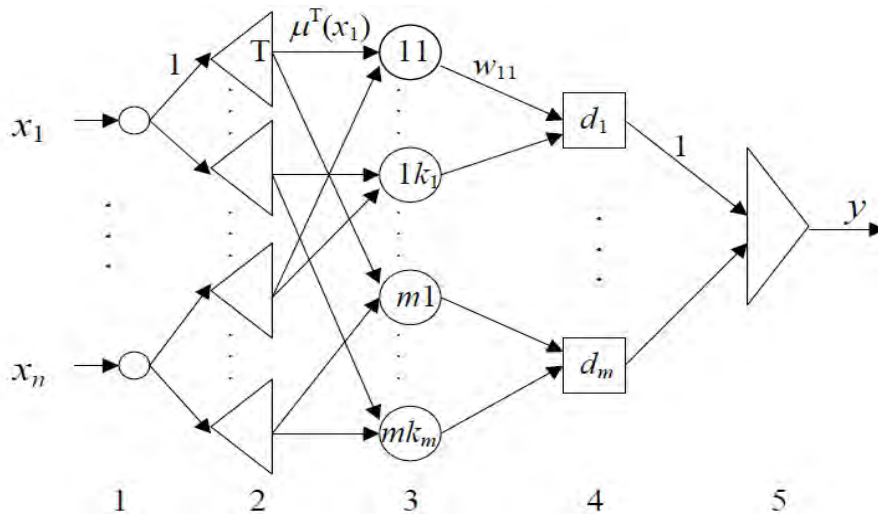


Рисунок 2 – Структурная схема ГННС типа АНФИС

Таким образом, полученная модель классификации НО по изображению объектов в системе технического зрения (СТЗ) РТК, которая представляет собой НБЗ об исследуемом объекте, построенную экспертным путем, что соответствует «грубой» настройке модели, и имеет также аппарат «тонкой» настройки, который заключается в обучении ГННС с использованием метода, подобного алгоритму обратного распространения ошибки для нейронных сетей [2]. Далее определяется степень принадлежности выходного сигнала к соответствующим классам выходной переменной – d (рис.1):

$$\mu^{dj}(y) = \max \{w_{jp} \min[\mu^{jp}(x_i)]\}.$$

Затем вычисляется модельное значение выходной переменной путем дефаззификации по формуле:

$$y = \frac{y_0 \mu^{d1}(y) + y_1 \mu^{d2}(y) + \dots + y_{m-1} \mu^{dm}(y)}{\mu^{d1}(y) + \mu^{d2}(y) + \dots + \mu^{dm}(y)}.$$

По аналогии с алгоритмом ОРО для ИНС в ГННС для оценки ошибки в каждом сегменте сети выполняются процедуры обратного хода. На последнем этапе работы алгоритма обучения нейро-нечёткой сети выполняется модификация параметров ГННС.

ВЫВОДЫ

1 Совместное использование методов нейронных сетей и нечёткой логики позволило получить модель исследуемых объектов с точно-

стью аппарата искусственных нейронных сетей и «прозрачной» логикой модели за счет применения методов нечёткой логики.

2 Предлагаемая модель классификации НО на изображении в СТЗ позволяет создавать и исследовать свойства процессов градаций объектов.

Список использованной литературы

1. Штовба С.Д. Введение в теорию нечётких множеств и нечёткую логику – М.: Горяч. Линия Телеком, 2005. – 321 с.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
3. Аксенов В.В., Аксенова Т.В., Павлов В.И. Алгоритм оценивания сигнально-помеховой обстановки в радиотехнических системах передачи данных // Радиотехника, – М.: Изд-во «Радиотехника», 2013. №9. – С. 102 - 107.

Сорока Е.П., Стафеев¹ М.А., Москвитин² С.П.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СВЯЗЬЮ АВИАЦИОННЫХ ФОРМИРОВАНИЙ

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

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

В статье рассмотрены возможности применения систем поддержки и принятия решений в системах управления связью авиационного формирования, а так же даны рекомендации по совершенствованию системы управления связью на основе применения автоматизированных систем управления.

Качество управления авиационной связью неразрывно связано с добытием и оценкой информации. В существующей системе управления авиационной связью уровень использования средств автоматизации не отвечает современным требованиям. Так сбор и обработка информации от подчиненных подразделений на пунктах управления связью осуществляется с бумажных или электронных носителей, анализ и моделирование развития обстановки по связи, информационная поддержка принятия решений зачастую должностными лицами не осуществляется, что приводит к увеличению времени при выполнении поставленных задач. Отсутствие специализированных программно-аппаратных комплексов должностных лиц органов управления связью в значительной мере снижает оперативность управления.

в свою очередь, в условиях дефицита времени снижение эффективности управления подразделениями связи, недопустимо, а выполнение требований по оперативности управления является первостепенной задачей органов управления.

Таким образом, актуальным является проведение исследования по вопросам совершенствования системы управления авиационной связью авиационного формирования.

Повышение оперативности управления носит комплексный характер и может осуществляться по следующим направлениям:

- сокращение времени работы должностных лиц органа управления;
- совершенствование систем и средств получения и обработки данных обстановки;

уменьшение времени на прием (передачу) информации пунктами управления связью;

совершенствование методов работы должностных лиц органов управления;

внедрение новых технологий и др.

Выполнение вышеизложенных требований возможно путем применения автоматизированной системы управления авиационной связью.

Автоматизированная система управления связью, являясь основным инструментом многоуровневой поддержки принятия решений должностных лиц управления связью, для обеспечения планирования, подготовки к применению по назначению, применения и восстановления системы связи, готовности сил и средств, а также применения подразделений связи с выполнением соответствующих требований, должна реализовывать следующие уровни управления связью: организационное, оперативно-техническое и технологическое [1].

На уровне организационного управления должны реализовываться целевые задачи функционирования системы связи путём планирования связи, управления построением системы связи и применением подразделений связи. При этом задачи автоматизированного управления связью на организационном уровне должны решаться на основе применения комплексов средств автоматизации управления связью, общего программного обеспечения, специального программного обеспечения организационного управления и элементов информационного обеспечения – баз данных организационного управления, реализованных на основе современных средств прикладной среды систем поддержки принятия решений (далее СППР). Для непосредственного решения задач организационного управления связью на организационном уровне управления могут формироваться следующие основные логические подсистемы:

подсистема учёта данных обстановки по связи;

подсистема моделирования функционирования сетей связи;

подсистема планирования связи;

подсистема планирования применения элементов системы связи;

подсистема оперативного управления связью;

подсистема всестороннего обеспечения функционирования системы связи.

На уровне оперативно-технического управления должны решаться задачи по управлению сетями и услугами связи во взаимодействии с подсистемами организационного и технологического управления.

Для решения задач оперативно-технического управления связью на соответствующем уровне управления должны выделяться следующие основные логические подсистемы:

подсистема управление качеством предоставления видов и услуг связи

подсистема контроля состояния и изменение структуры сетей связи. Основу технической реализации данного уровня должен составлять комплекс средств автоматизации оперативно-технического управления сетями связи, включающий:

автоматизированные рабочие места должностных лиц, объединённые локальной вычислительной сетью с серверами приложений, и базы данных;

программное и информационное обеспечение, обеспечивающее автоматизированное решение задач оперативно-технического управления.

На уровне технологического управления должна решаться задача контроля и изменения технического состояния средств связи сетей связи путем создания соответствующей подсистемы. Технологическое управление связью осуществляется с использованием возможностей современных средств связи воспринимать поступающие из автоматизированной системы управления связью управляющие команды и сигналы, изменять под их воздействием своё состояние, а также представлять информацию о своем состоянии.

Система поддержки и принятия решения должностных лиц представляет собой интерактивную автоматизированную систему, которая облегчает использование данных и моделей для идентификации, решения поставленных задач и принятия решений.

Особый интерес к использованию системы поддержки принятия решений должностных лиц органа управления связью авиационного формирования связан с комплексным подходом использования данных. Разработка и внедрение такой системы позволит значительно оптимизировать процессы связанные с прогнозированием, отслеживанием текущих состояний и показателей эффективности функционирования системы связи авиационного формирования.

Задачи решаемые с помощью СППР можно подразделить на:

- задачи для которых характерна возможность объективной оценки результата решения или хотя бы сравнительной оценки двух решений;
- задачи, для которых такая объективная оценка результатов решения отсутствует, и ее заменяют экспертные оценки людей.

Применение системы поддержки принятия решений должностных лиц органа управления связью позволит поднять на новый уровень каче-

ство и сроки выполнения поставленных задач, а также производить передачу (прием) команд и распоряжений в режиме реального времени, отображение всей необходимой графической и текстовой информации о состоянии подчиненных подразделений связи, решение расчетных задач по наиболее эффективному применению средств связи в ходе выполнения поставленных задач, а также контроль над состоянием системы (средств) связи в реальном масштабе времени[2]

Таким образом, внедрение перспективных цифровых средств связи и автоматизации управления, а так же создание на их основе систем поддержки принятия решений, позволит значительно сократить время на принятие решения, повысить оперативность управления в любых условиях обстановки и обеспечить упреждающую готовность системы связи относительно готовности пунктов управления авиационного формирования.

Исследование выполнено при частичной поддержке РФФИ в рамках проекта №19-08-00312

Список используемых источников

1. Арсланов Х.А. и др. Автоматизированная система управления связью Вооруженных Сил Российской Федерации и приоритетные направления ее развития // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации, 2016. С.17–20.
2. Боговик А.В., Загоруйко С.С., Ковалев И.С., Котенко И.В., Масоновец В.В. Теория управления в системах военного назначения. М.:МО, 2001. 1-320 с.

Сустин А.И., Пудовкин А.П., Глистин В.Н.

ЭТАПЫ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Аннотация: рассмотрены этапы обработки радиолокационной информации в однопозиционных и многопозиционных радиолокационных станциях.

Ключевые слова и фразы: однопозиционная РЛС, многопозиционный радиолокационный комплекс, воздушные суда, обработка радиолокационной информации.

В связи с бурным развитием радиолокационных информационно-измерительных систем управления воздушным движением способы обработки радиолокационной информации (РЛИ) в одной радиолокационной станции (РЛС) всё более проигрывают применению комплекса разнесенных в пространстве РЛС с общей зоной обзора для обработки РЛИ, который принято называть многопозиционным радиолокационным комплексом (МП РЛК).

При использовании одной РЛС (однопозиционная радиолокация) выполняются следующие этапы:

- 1) обнаружение отметок интересующей воздушной цели;
- 2) выделение отметок цели на фоне шумов и помех;
- 3) преобразование координат и селекция отметок;
- 4) обнаружение траекторий целей по совокупности отметок, полученных за несколько периодов обзора РЛС, а также автозахват и автосопровождение траекторий целей;
- 5) фильтрация координат и вычисление параметров движения целей (скорости, курса ит. д.).

Первые две задачи объединены в первичную обработку информации. Первичная обработка информации осуществляется по одной или чаще по нескольким смежным разверткам дальности, этого достаточно для обнаружения ВС и определения его координат[1]. Первичная обработка информации производится одним из трёх способов: ручным, автоматизированным или автоматическим способами. При ручном способе обнаружение и определение координат возложено на оператора радиолокационной станции. Действия оператора определяются результатами визуальной

оценки изображения на экране. Обнаружение цели происходит по яркости отметки относительно фона, а координаты ВС определяются взаимным положением отметки и линий азимута и дальности. Автоматизированный способ первичной обработки РЛИ повышает точность съема координат целей человеком-оператором в сравнение с ручным способом за счет формирования электронного маркера цели, однако участие человека-оператора не позволяет обеспечить высокую пропускную способность по восприятию и выдаче РЛИ [2]. Этот недостаток устранен в автоматическом способе первичной обработки РЛИ. Фактически данный способ ничем не отличается от предыдущих, но за счет цифровой обработки РЛИ наблюдается повышение точностных характеристик первичных оценок координат, однако по единичной отметке нельзя принять решение о достоверности обнаружения цели, а также судить о параметрах его движения.

Остальные задачи объединяются во вторичную обработку информации, которая представляет собой логическое развитие первичной обработки РЛИ и заключается в анализе информации, полученной за несколько периодов обзора РЛС. Задача вторичной обработки информации – принятие правильного решения о наличии цели и принадлежности ее к предыдущим отметкам, и в последующем определение траектории и параметров движения.

Вторичная обработка информации включает следующие этапы [1]:

- селекция и стробирование новых отметок, а также удаление ложных;
- обнаружение или подтверждение траектории;
- фильтрация параметров траектории;
- экстраполяция перемещения воздушной цели.

Таким образом, если при первичной обработке из смеси сигнала с шумом на основе статистического различия структуры сигнала и шума выделяется полезная информация, то вторичная обработка, используя различия в закономерностях появления ложных отметок и отметок от целей, должна обеспечить выделение траекторий движущихся целей, что является главной особенностью данного типа обработки информации. Другими словами, процесс вторичной обработки РЛИ заключается в определении параметров движения целей по данным, полученным за несколько периодов обзора и прогнозирование дальнейшей траектории [3].

На этом заканчивается обработка информации в однопозиционных РЛК, однако для многопозиционных РЛК – это только начало. Основная задача, которая решается в МП РЛК – построение обобщенной, более точной, траектории движения исследуемой воздушной цели. Данная задача может решаться одним из двух подходов [4]:

- объединение единичных замеров «первичных координат» результирующую траекторию цели;
- объединение траекторий цели, построенных в разных позициях, результирующую траекторию.

При обоих подходах обработка РЛИ в МП РЛК разбивается на три этапа:

- 1) преобразование в единую систему координат и к единому времени;
- 2) отождествление;
- 3) оценка параметров траектории.

Схематически обработка информации в МП РЛК представлена на рисунке 1.

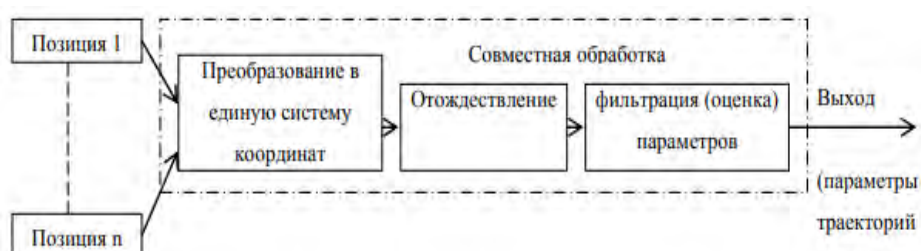


Рисунок 1 – Этапы обработки информации в МП РЛК

Каждая РЛС, обнаружившая цель, измеряет её координаты в собственной системе координат, поэтому при передаче данных в центр управления ИИС УВД необходимо произвести пересчет координат к точке расположения приемника информации. В ИИС УВД, действующих в районе аэродрома, используют полярную, либо прямоугольную системы координат.

Приведение отметок к единой временной линии необходимо для определения положения воздушного судна в какой-то определенный момент времени, что значительно облегчает задачу отождествления отметок. Приведение отметок к единой временной линии происходит путем определения для каждой отметки экстраполяции относительно заданного момента сравнения [4].

В процессе этапа отождествления отметок определяется принадлежность отметок к целям[1, 5]. После отождествления необходимо группировать отметки от нескольких РЛС к одной цели. Для формирования одной отметки необходимо осуществлять усреднение параметров движения воздушного судна. Простейший из применяемых методов усреднения параметров движения воздушного судна может осуществляться нахождением среднего арифметического значения координат. Данный метод достаточно прост, однако не учитывает точностные характеристики источников РЛИ. Более точным является способ третичной обработки инфор-

мации с учетом веса данных на основе обработки невязок калмановской фильтрации в РЛС, который учитывает его текущие точностные характеристики источников РЛИ[4].

Таким образом, при управлении воздушным движением для повышения точностных характеристик координат при сопровождении воздушных судов целесообразно использовать многопозиционные радиолокационные комплексы.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 14-08-00523

Список используемых источников

1. 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.
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. Pudovkin, A.P., Panasyuk, Y.N., Sustin, A.I., Danilon, S.N., Varepo, L.G., Trapeznikova, O.V. Algorithm synthesis for tertiary information processing of distance measuring channel in information and measurement system of air traffic control//Journal of Physics: Conference Series – IV International Scientific and Technical Conference “Mechanical Science and Technology Update”, MSTU 2020, P.58 –65.
4. Черняк, В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. – М. : Радио и связь, 1993.–418 с.
5. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

Хворова Н.А., Долгов С.Б., Шамкин В.Н.

ГРЕЙДИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ МОТИВАЦИИ ПЕРСОНАЛА НА ПРОИЗВОДЯЩЕМ РАДИОЭЛЕКТРОННУЮ ПРОДУКЦИЮ ПРЕДПРИЯТИИ

Тамбовский государственный технический университет

Мотивация персонала обеспечивает оптимальное использование ресурсов, мобилизации имеющегося кадрового потенциала. Особое значение для организации всегда будет иметь подсистема материального стимулирования работника.

В наше время все больше предприятий уделяют внимание внедрению грейдинга, с задачей повышения производительности и снижения текучести кадров.

Термин «грейд» знаком каждому человеку, хотя бы косвенно причастному к управлению персоналом. При этом одна часть специалистов считает, что грейды – это та же тарифная сетка, только в профиль. Других пугает необходимость задействовать математический аппарат. Прежде всего нужно понять, какие цели преследует предприятие, внедряя систему позиционных уровней, или грейдов. Наша цель участвовать в выполнении инновационных проектов по созданию электронной компонентной базы и радиоэлектронной аппаратуры нового поколения, постоянно увеличивать объемы поставляемой продукции, изучение и удовлетворение запросов (требований) потребителя. Для этого необходимо создать на предприятии основу для принятия справедливых решений об окладах. Грейдинг дает возможность построить карьеру не только вертикально, но и горизонтально (внутри своей текущей позиции). Сотрудники предприятия будут заинтересованы в повышении уровня знаний, квалификации что скажется на его заработной плате. То же самое касается случаев, когда трудящийся прошел обучение. При том что он остается на текущем уровне, вес фактора знаний повышается, а значит, увеличивается и заработная плата. В дальнейшем, исходя из принадлежности должности к определенному грейду, определяется социальный пакет каждого сотрудника. Кроме того, с учетом грейда в подавляющем большинстве случаев определяется размер премиальных выплат. Таким образом, создав эффективную систему грейдов, предприятие получает инструмент влияния как минимум на три составляющие затрат на персонал: оклады, социальный

пакет, премии". Давайте посмотрим, в чём особенность грейдов, как производящем радиоэлектронную продукцию предприятию целесообразно их вводить и каких результатов стоит ожидать.

Изначально грейдинг подразумевает классификацию и упорядочивание должностей, существующих на предприятии.

Грейдирование направлено на поддержание уровня профессионального потенциала: повышая свой уровень, работник становится более эффективным и, соответственно, более высокооплачиваемым специалистом.

Система грейдов – это шкала уровней должностей, принятых на предприятии. Каждое предприятие должно выстраивать ее самостоятельно, в соответствии со своими особенностями, ценностями работника для организационного процесса. То есть, грейды – это позиционирование должностей, при котором руководство компании платят сотрудникам за результат труда. Система оплаты, сочетающая в себе широкий диапазон размеров заработной платы и одновременно четкое распределение по иерархическим уровням.

Грейды позволяют предложить каждому специалисту адекватную материальную компенсацию – не меньшую, чем он заслуживает, но и не завышенную. Происходит перераспределение ФОТ, так как выявляются сотрудники, которым сильно переплачивают или недоплачивают (с точки зрения их полезности для предприятия). Грейдирование не экономит средства само по себе, но предприятия, которые его внедрило, отчитываются о повышении эффективности на 10-30%.

Система грейдирования помогает смотивировать работников к дальнейшей эффективной трудовой деятельности, каждый сотрудник предприятия отвечает за качество выполняемой работы, так как каждый год работники обязаны подтверждать свой грейд результатами трудовой деятельности.

Сделав принцип начисления зарплат прозрачным, повышается лояльность персонала, устраняется дисбаланс материального вознаграждения. Сразу отпадают ленивые и бесполезные сотрудники, при этом автоматически повышается оклад тех, кто действительно играет важную роль в работе организации.

Данный инновационный инструмент мотивации персонала, является довольно эффективным в своем действии, появляется возможность гибкого подхода к оценке должностей, у работников появляется стимул дальнейшего карьерного роста, удовлетворены уровнем заработной платы все стороны трудовых отношений, что в итоге приводит к снижению текучести кадров.

На основе системы грейдов также разрабатывается социальная политика предприятия, мотивационные программы и программы карьерного развития (работники знают об изменении уровня доходов при различных карьерных передвижениях).

Все должности проходят оценку по нескольким параметрам, распределенным на три группы:

Знания и навыки, необходимые для выполнения должностных обязательств. Здесь выполняется, оценивается однообразность функции, наличие противоречий в функциях и умение управлять ими, навыки общения, умение решать поставленные производственные задачи. Результат зависит от уровня коммуникативных черт сотрудника. Стоит отметить, что проводится оценка уровня требований к должности, умению и навыкам а не способностей конкретной личности.

Решение проблем. Здесь измеряется сложность и масштабы задач (нужны ли ограничения, какие именно, стандартные и изменчивые характеристики, наличие или отсутствие готовых решений, необходимость фундаментальных исследований).

Ответственность – показывать способность свободного принятия решений на конкретной должности, нахождения решения поставленной задачи. Важно выяснить, насколько полномочия позволяют принимать решения. При учёте этого фактора измеряют степень прямого или косвенного влияния на финансовые результаты и их масштабность. Когда трудно выделить финансовую составляющую, оценивают относительную сложность работ.

Эти факторы обеспечивают универсальность для любой сферы деятельности.

Мотивированием сотрудников, повышается эффективность деятельности предприятия, прибыльности предприятия и снижение издержек на основе достижения целей и задач, а также увеличение результативности работы сотрудников и качества их работы, что позволяет развивать профессиональные навыки и брать на себя дополнительные обязанности (например, наставничество).

Оценить реальный вклад каждого сотрудника в общее дело, оценить рабочие места с точки зрения их вклада в конечный результат и качество выпускаемой продукции. При этом работник должен знать, какое вознаграждение он получит в зависимости от результатов своего труда. Помимо этого, система грейдов позволяет работникам получить представление о возможном изменении их уровня доходов при различных вариантах развития карьеры, руководству предприятия – облегчить решения относительно индексации заработной платы и определении допустимого размера

вознаграждения на новых должностях, а HR-службе – упростить администрирование корпоративной системы материального стимулирования"

Резюмируя вышесказанное, хотелось бы отметить, что грейдование является эффективным инструментом управления персоналом, помогает сформировать четкую систему мотивации персонала, гибкую систему оплаты труда.

Список использованной литературы

1. Зайцева Т.Ф., Александрова Н.Р. Методические основы качественной оценки труда на основе системы грейдования / Т.Ф. Зайцева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии, 2014. - № 4(28). - С.186-194.
2. Дворникова А. Поэтапный план разработки грейдовой системы оплаты труда [Электронный ресурс]: Генеральный директор - персональный журнал руководителя.

Хрипунов В.П., Зырянов Ю.Т.

ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ КОСМИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЕРОВ В ПРОЦЕССЕ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

*ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина», Россия, Звездный городок
ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет,
г. Тамбов*

***Аннотация:** в данной работе рассматривается процедура поиска и локализации неисправностей космических тренажеров, а также причины возникновения неисправностей и особенности информационного обеспечения операторов тренажеров.*

***Ключевые слова:** тренажер пилотируемого космического аппарата, неисправности, управление.*

В общей проблеме эксплуатации тренажеров пилотируемых космических аппаратов (ПКА) одной из актуальных задач является задача своевременного обнаружения и устранения неисправностей систем тренажера, влияющих на его работоспособность. Причинами их возникновения являются объективные и субъективные условия. Объективные условия являются следствием сбоев и ошибок программного обеспечения, износов и отказов аппаратных частей тренажера. Субъективные условия обусловлены в основном «человеческим» фактором и связаны с ошибочными (непоследовательными) действиями инженерно-технического персонала (ИТП) тренажера, методистов-инструкторов, космонавтов в процессе проведения тренировок. Поиск неисправностей связан с выполнением контроля функционирования систем тренажера. В настоящее время для управления проведением тренировок на тренажерах ПКА используются пульта контроля и управления (ПКУ) с рабочими местами методистов-инструкторов, инженеров, врачей и др. Рабочее место строится как унифицированный комплекс программно-аппаратных средств, основным элементом которого является рабочая станция, имеющая в своем составе средства отображения (монитор) и органы управления (клавиатура, мышь, ручки). Рабочая станция имеет средства для подключения к локальным вычислительным сетям тренажера. Программные средства ПКУ предназначены для реализации интерфейса оперативного персонала тренировки со средствами тренажера. Все разрабатываемые форматы разделяются на две группы:

общесистемные форматы и специализированные форматы пользователей. Общесистемные форматы komponуются вместе с системой и обеспечивают предоставление общей информации о системах или средствах для выполнения типовой операции. Форматы пользователя разрабатываются для конкретных прикладных задач. [1].

Опыт показывает, что объем контролируемых параметров для определения причины неисправности значительно больше объема, используемого при оценке технического состояния тренажера для определения его готовности к проведению тренировок. Организация контроля при поиске места отказа основывается на анализе причинно–следственных связей между характером отказа и результатом контроля. Поэтому для поиска мест отказов требуются глубокие знания как отказавшего объекта, так и возможностей средств контроля. Поиск неисправностей тренажера ПКА – сложный процесс, на который даже обладающий значительным практическим опытом оператор тренажера тратит большую часть времени и предъявляет особые требования к специалистам, осуществляющим этот поиск. Кроме того, и это главное, для поиска места отказа необходимо владеть определенными методами, позволяющими построить процесс поиска. В отличие от других видов деятельности по эксплуатации космических тренажеров процесс поиска неисправностей следует в большей мере отнести к творческой деятельности, так как при его реализации вырабатывается способность решать задачи и находить новые стратегии поиска [2]. Большое психологическое давление в процессе поиска неисправности оказывает риск срыва тренировки космонавтов, что, учитывая плотный график подготовки, особенно на конечном этапе перед экзаменационными и зачетными тренировками, может сказаться на полноте и своевременности выполнения программы подготовки космонавтов в целом. Воздействие указанного фактора может привести к неадекватным действиям оператора тренажера (ИТП), в результате чего он сам может усугубить процесс развития неисправности или стать ее дополнительным источником. Основной задачей ИТП тренажера при поиске и устранении (локализации) неисправностей космического тренажера является организация оптимального (по критериям минимизации временных затрат на принятие решения и минимизации ошибки решения) управления. Критерии оптимальности задаются исходя из смысла решаемой задачи. Критерии оптимальности являются функционалом перечисленных величин, а оптимальное управление должно обеспечивать их экстремум, в данном случае, минимизировать [3].

Обозначим в общем виде функционал, характеризующий качество управления в процессе устранения неисправностей тренажера ПКА

$$\Phi_{\text{ку}}(S_{\text{тек}}, S_{\text{тр}}, U_{\text{ув}}, t_{\text{пр. реш}}, q_{\text{реш}}),$$

где $S_{\text{тек}}$ – текущее состояние тренажера; $S_{\text{тр}}$ – требуемое состояние тренажера; $U_{\text{ув}}$ – управляющее воздействие по устранению неисправности; $t_{\text{пр. реш}}$ – время принятия решения на устранению неисправности; $q_{\text{реш}}$ – ошибка решения.

Рассмотрим общую схему поиска решений при неисправностях тренажеров ПКА (рис. 1). В процессе проведения тренировки осуществляется контроль основных параметров тренажера (функциональных систем), как вербальными, так и программными способами. Электрические информационные связи обеспечивают передачу информации от датчиков в вычислительную систему и из вычислительной системы на исполнительные устройства. Одновременно осуществляется диагностика состояния параметров (соотнесение их фактических величин границам допуска). На основании результатов диагностики параметров тренажера определяется его текущее состояние (исправное, работоспособное, неработоспособное, рабочее и т.п.). По текущему состоянию тренажера делается вывод о необходимости формирования управляющего решения и такое решение формируется с учетом выбранных критериев оптимальности. При управлении в процессе поиска и устранения неисправностей зачастую приходится использовать несколько управляющих воздействий.



Рисунок 1 - Схема поиска решений при неисправностях тренажеров

Рисунок 1 - Схема поиска решений при неисправностях тренажеров ПКА

На основании результатов диагностики параметров тренажера определяется его текущее состояние (исправное, работоспособное, неработоспособное, рабочее и т.п.). По текущему состоянию тренажера делается вывод о необходимости формирования управляющего решения и такое решение формируется с учетом выбранных критериев оптимальности. При управлении в процессе поиска и устранения неисправностей зачастую приходится использовать несколько управляющих воздействий.

В зависимости от управляющего воздействия принимается решение, определяющее дальнейший ход тренировочного процесса на тренажере.

Список использованной литературы

1. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации. В.Е Шукшунов, В.В. Циблиев, С.И. Потоцкий и др. / под ред. В.Е Шукшунова. - М.: Машиностроение, 2005. - С.63-67.
2. Модели технического обслуживания сложных систем / Е.Ю. Бразирович. – М: Высшая школа, 1982. С. 19, 50-51.
3. Основы автоматических систем авиационного вооружения. / И.Е. Казаков, В.Н. Исаев. ВВИА имени Н.Е. Жуковского, 1991. – С. 277-282
4. Математические основы кибернетики. / Ю.М. Коршунов – М: Энергия, 1980. – С.205-207.
5. Наумова А.Ю. Особенности программной и аппаратной надежности информационно-измерительных и управляющих систем / А.Ю. Наумова, Ю.Т. Зырянов, А.Д. Любимов – Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития. тезисы докладов третьей всероссийской молодежной научной конференции. 2018. – С. 97-98.
6. Павлов В.И. Раннее обнаружение начала постепенного изменения свойств случайных процессов / В.И. Павлов, С.В. Артемова, А.Н. Грибков, О.А. Белоусов, М.П. Беляев, Нагорнова И.В. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки.* 2020. № 5. – С. 237-246.

Шамаева Е.Ф.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

*Институт социально-экономических проблем народонаселения
ФНИСЦ РАН (г. Москва), Государственный университет «Дубна»
(г. Дубна)*

Аннотация: На основе системно энергетического подхода в моделировании социально-экономических процессов представлено описание задач, учитывающее ключевые факторы эффективности. Предложена система параметров экологической, технологической, энергетической эффективности взаимодействия общественных и природных систем и учета антропогенной нагрузки. С учетом системы энергетических и мощностных параметров выделены и формализованы тенденции: энергорасточительные, природорасточительные, инновационные. Система параметров получена из наиболее фундаментальных предпосылок, отражающих самые общие параметры функционирования социально-экономических систем, которая позволяет выявить полный список критериев, отражающих наиболее общие свойства, присущие социально-экономическим и производящим системам. Приведены примеры расчета антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: эффективность управления развитием, экологическая, технологическая и энергетическая эффективности, стандарт мониторинга.

В терминах мощности можно записать взаимодействие общественной системы с природной средой так: затрачивая поток (мощность) P , общество через время τ_{Π} получает в свое распоряжение поток ресурсов, измеряемый величиной N . Отношение P к N есть мера эффективности использования обществом ресурсов (полной мощности N) за время τ_0 , обозначаемое $\varphi(t)$. Отношение полученной мощности N к затраченной на ее получение P есть мера потенциальной способности общества к расширенному воспроизводству, обозначаемая ξ_{Π} . Величина находящейся в распоряжении системы полной мощности N является мерой потенциальных возможностей, величина P — мерой реальных возможностей оказывать воздействие на окружающую среду, а величина G — мерой потерь (рис. 1) [1].

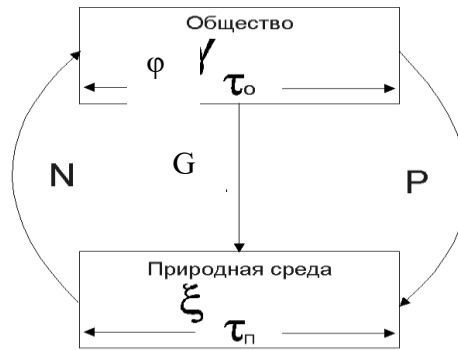


Рис. 1. Модель С. А. Подолинского «производство — природная среда» [1, 2]

Выделены параметры (табл. 1) и составлены балансовые уравнения взаимосвязей общественной системы с окружающей природной средой (табл. 1) [1, 2]:

$$\begin{cases} P(t + \tau_0) = N(t) \cdot \gamma(t), \\ N(t + \tau_0 + \tau_{\Pi}) = P(t + \tau_0) \cdot \zeta(t), \\ G(t + \tau_0 + \tau_{\Pi}) = N(t + \tau_0 + \tau_{\Pi}) - P(t + \tau_0) \end{cases} \quad (1)$$

Антропогенный предел, выраженный через допустимую плотность мощности антропогенной нагрузки, принимается как среднее значение, даваемое биосферной и ресурсной моделями, и составляет [3]:

$$D_{SD} = 70 \text{ кВт/ км}^2 \text{ (константа А.П. Федотова).}$$

Подробно методика расчета с иллюстрациями представлена в работе [4].

Табл. 1. Система параметров эффективности взаимодействия общественных и природных систем

	Параметр	Обозначение	Критерии, отражающие эффективность развития	Формула	Единицы измерения
Исходные понятия и параметры	Суммарное потребление природных ресурсов	N(t)	$\Delta N(t) = \text{const}$	$N(t) = \sum_j^k \sum_{i=1}^3 N_{ij}(t)$ $N_{j1}(t), N_{j2}(t) \dots N_{j3}(t)$ - суммарное потребление j-го объекта i-го ресурса	Вт, кВт, МВт, ГВт
	Совокупный произведенный продукт	P(t)	$\Delta P(t) > 0$	$P(t) = \sum_{i=1}^{n=3} N_i(t) \cdot \eta_i(t)$	Вт, кВт, МВт, ГВт
	Мощность потерь	G(t)	$\Delta G(t) < 0$	$G(t) = N(t) - P(t)$	Вт, кВт, МВт, ГВт
Параметры эффективности	Энергетическая эффективность	$\varphi(t)$	$\Delta \varphi(t) > 0$ $\Delta P(t) > 0$ $\Delta N(t) = \text{const}$	$\varphi = P(t) / N(t)$	безразмерные единицы
	Социальная эффективность	$\tau_A(t)$	$\Delta \tau_A(t) > 0$	$\tau_A = \frac{QL(t)}{N(t)}$	безразмерные единицы
		QL(t)	$\Delta QL(t) > 0$	$QL(t) = T_H(t) \cdot U(t) \cdot q(t)$	кВт / чел.

	Параметр	Обозначение	Критерии, отражающие эффективность развития	Формула	Единицы измерения
	Технологическая эффективность	O(t)	$\Delta O(t) > 0$ $\Delta G(t) < 0$ $\Delta N(t) = \text{const}$	$O(t) = N(t) / G(t)$	безразмерные единицы
	Коэффициент вредного воздействия	S(t)	$\Delta S(t) < 0$ $\Delta G(t) < 0$ $\Delta N(t) = \text{const}$	$S(t) = G(t) / N(t)$	безразмерные единицы
	Экологическая эффективность	A(t)	$\Delta A(t) > 0$ $\Delta P(t) > 0$ $\Delta G(t) < 0$	$A(t) = P(t) / G(t)$	безразмерные единицы
Дополнительные параметры – тенденции	Энергорасточительные	C ₁	Отражает экологически эффективные системы, отличающиеся высоким энергопотреблением. Основной вектор модернизации – энергосбережение.	$C_{1.1} = (N(t) * P(t)) / G(t)$ $C_{1.2} = \Delta P(t) / \Delta G(t)$	Вт, кВт, МВт, ГВт
	Природорасточительные	C ₂	Высокие значения отражают энергоэффективные системы, отличающиеся повышенным воздействием на среду. Вектор модернизации – повышение экологичности технологий.	$C_{2.1} = (G(t) * P(t)) / N(t)$ $C_{2.2} = \Delta G(t) / \Delta N(t)$	Вт, кВт, МВт, ГВт
	Инновационные	C ₃	Высокие значения отражают интеллектуальную экоэнергетическую эффективность	$C_{3.1} = P(t) / (N(t) * G(t))$ $C_{3.2} = \Delta P(t) / \Delta N(t)$	Вт, кВт, МВт, ГВт

Плотность полной мощности или антропогенной нагрузки - определяется отношением годового суммарного энергопотребления к площади страны с единицей измерения - киловатт на квадратный километр (табл. 2).

Табл. 2. Формулы для расчета антропогенной нагрузки в регионе

№ п/п	Наименование параметра	Формула	Единицы измерения
1.	Плотность полной мощности	$\rho_N(t) = \frac{N(t)}{S}$	кВт/ км ²
2.	Плотность полезной мощности	$\rho_P(t) = \frac{P(t)}{S}$	кВт/ км ²
3.	Плотность потери мощности	$\rho_G(t) = \frac{G(t)}{S}$	кВт/ км ²
4.	Неустойчивость биосферы	$BN(t) = \frac{\rho_N(t)}{D_{SD}}$	Безразмерные единицы

Приведем примеры расчета антропогенной нагрузки (табл. 3 – 4).

Табл. 4. Динамика плотности полной мощности на примере Республики Казахстан и его областей¹

Плотность полной мощности, $\rho_N(t)$ кВт/ км ²	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Республика Казахстан	35,67	30,34	39,95	38,89	38,30	38,87	39,65
Южно-Казахстанская область	34,59	28,38	36,84	35,95	35,48	36,03	34,70
Алматинская область	7,19	6,44	8,23	8,04	7,95	8,06	7,71
Костанайская область	8,751	7,304	9,471	9,227	9,089	9,213	9,705
Кызылординская область	25,36	21,10	27,83	27,09	26,67	27,07	27,75
Акмолинская область	7,66	6,44	8,30	8,10	7,98	8,09	8,23
Восточно-Казахстанская область	10,540	8,530	11,07 1	10,78 3	10,62 2	10,77 0	10,57 5
Мангыстауская область	50,82	44,02	58,21	56,64	55,78	56,62	58,00

Табл. 5. Динамика плотности полезной мощности на примере Республики Казахстан и его областей

Плотность полезной мощности, $\rho_p(t)$ кВт/ км ²	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Южно-Казахстанская область	8,17	6,61	8,71	8,48	8,35	8,48	8,55
Алматинская область	1,615	1,425	1,872	1,822	1,795	1,822	1,833
Костанайская область	2,066	1,705	2,247	2,187	2,153	2,184	2,244
Кызылординская область	6,269	5,204	6,887	6,699	6,595	6,694	6,835
Акмолинская область	1,781	1,475	1,943	1,890	1,862	1,889	1,926
Восточно-Казахстанская область	2,501	1,999	2,636	2,565	2,525	2,562	2,593
Мангыстауская область	12,65	10,95	14,50	14,10	13,88	14,09	14,38

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-110-50408

Список используемых источников

1. Большаков Б.Е., Кузнецов О.Л. Устойчивое развитие и наука проектирования: постановка проблемы и возможное решение// Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление: том 12 № 4 (33), 2016. [Электронный ресурс], режим доступа: http://www.gypravlenie.ru/wp-content/uploads/2017/02/01-Bolshakov_Kuznetsov.pdf, свободный. Дата обращения: 21.10.2020.

¹Расчеты представлены на основе базы данных Научной школы устойчивого развития (<http://xn--80adbkckdfac8cd1ahpld0f.xn--p1ai/>) и данных мирового банка (<https://datacatalog.worldbank.org/>).

2. Кузнецов П.Г. О возможности энергетического анализа основ организации общественного производства//В сб.: Эффективность научно-технического творчества. – М.: Наука, 1968, с.133 – 162.
3. Федотов А.П. Глобалистика: начала науки о современном мире. – М.: Аспект Пресс, 2002, 224 с.
4. Шамаева Е.Ф. Концептуальное проектирование ноосферного устойчивого развития на глобальном, региональном и локальном уровнях [Электронный ресурс] // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление: №1 (18), 2013. — Режим доступа: <http://www.gypravlenie.ru/?p=1369>, свободный. Дата обращения: 21.07.2020.

Венцерова Н.В., Тымчук Т.М.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МИГРАЦИИ ФОТОНОВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

***Аннотация:** В данной работе представлен и описан алгоритм метода Монте-Карло для моделирования оптических свойств внутри биологической ткани.*

***Ключевые слова:** Метод Монте-Карло, математическая модель, оптические параметры биоткани.*

В связи с интенсивным развитием оптических технологий происходит создание новых оптических методов оптической томографии. Данные методы позволяют исследовать ткани на уровне слоев клеток и в реальном времени. Одним из таких методов является метод оптической когерентной томографии (ОКТ). Данный метод основан на построении изображений внутренней структуры рассеивающих объектов, основанный на низкокогерентной интерферометрии с использованием широкополосных источников излучения, видимого или ближнего инфракрасного диапазона длин волн. Однако для дальнейшего развития таких систем необходимы тест-объекты для контроля технического состояния оптических томографов с расширенными возможностями.

Таким образом, разработка и исследование метода для создания реалистичных тест-объектов для оптической томографии является важной и актуальной научной задачей. Решением этой задачей, будет поэтапное создание тканеимитирующего фантома. На одном из этапах которого реализуется математическая модель биоткани для моделирования миграции фотонов в ней.

При моделировании оптического излучения сквозь биоткани необходимо понять какими именно процессами обуславливается прохождение излучения: поглощение – это следствие частичного перехода световой энергии в тепловое движение или колебательную энергию поглощающих молекул. Поглощающая способность зависит от электронной структуры поглощающих элементов (атомов или молекул), а также от их температуры, длины волны излучения и концентрации.

Второй важный параметр – это коэффициент рассеяния (μ_s), он возникает за счёт изменения показателя преломления среды и зависит от

размера составляющих ткани частиц. Благодаря этим свойствам рассеяние света применяется в качестве диагностических методов при исследованиях морфологических изменений в биологических тканях.

Знание оптических свойств биологических тканей является важным аспектом при разработке адекватно описывающих математических моделей распространения света в биологических тканях. Модели, основывающиеся на теории переноса излучения (ТПИ) широко используются в современной биомедицинской оптике, а также более простые методы решения уравнения переноса, такие как двухпоточная теория Кубелки-Мунка, трёх-, четырёх-, и семипоточные модели или метод Монте-Карло.

На данный момент оптимальным способом моделирования взаимодействия оптического излучения и биологических тканей является метод Монте-Карло. Данный метод характерен высокой точностью, что позволяет использовать его при моделировании физических процессов.

По определению, метод Монте-Карло – это численный метод решения математических задач и статистическое моделирование процессов при помощи получения и преобразования случайных чисел. Метод Монте-Карло основывается на компьютерном моделировании случайного блуждания N числа фотонов.

Разработка математической модели складывается из нескольких этапов:

– Первый этап – это определение целей моделирования. В данной работе целью математического моделирования является: изучение процесса прохождения оптического излучения сквозь слои фантома, имитирующего биологические ткани человека.

– Второй этап – на данном этапе определяются входные параметры модели, а также ранжирование входных данных по степени важности. В оптике биотканей важными параметрами являются: коэффициент поглощения, коэффициент рассеяния, показатель преломления, параметр анизотропии, длина волны излучения, толщина ткани и вес фотона.

– Третий этап – формулировка модели, имеющее конкретное математическое представление.

– Четвёртый этап – выбор метода исследования математической модели, другими словами, выбор численного метода при программировании модели. В данной работе таким численным методом был выбран метод Монте-Карло. Он не имеет внутренних ограничений, что позволяет решать задачу распространения излучения в среде, учитывая оптические параметры и их возможные изменения во времени и пространстве. Данный метод гибок и способен предоставить точные результаты за приемлемое время.

– Пятый этап – построение алгоритма, составление и отладка программы. На рисунке 1 представлен алгоритм метода Монте-Карло.

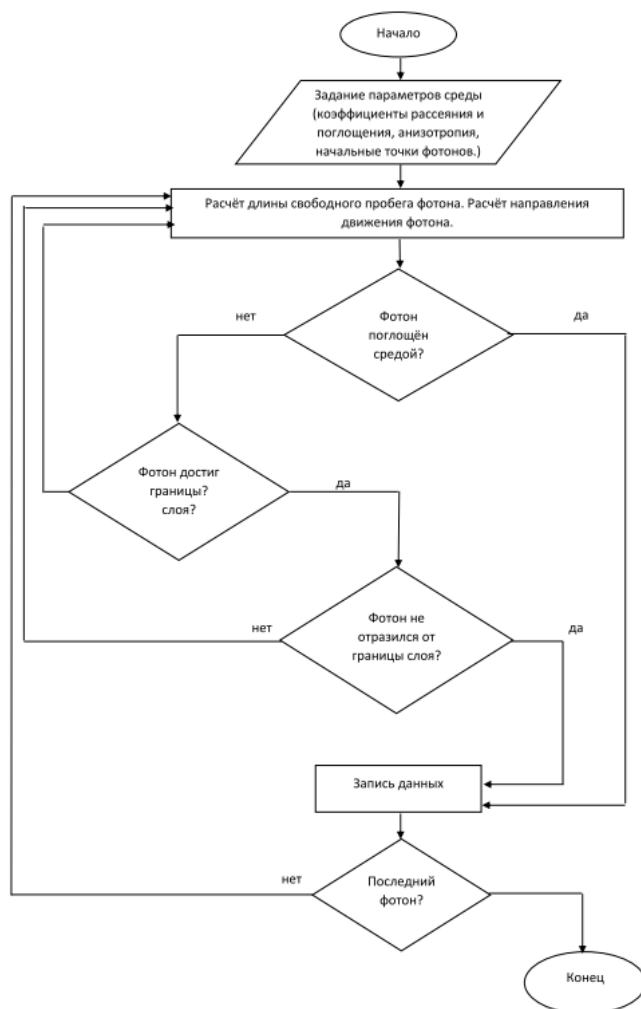


Рисунок 1 – Алгоритм метода Монте-Карло

Сперва задаются начальные параметры среды (обозначенные во втором этапе построения математической модели). Далее рассчитывается размер шага фотона для первого случая и его перемещение. Если фотон поглощён, то он помещается в массив данных (такой же массив есть и для рассеянных фотонов), котором записывается число поглощённых фотонов и запускается следующий. Если фотон рассеян, то рассчитывается его новое направление движения и координаты, а также проверяется возможность внутреннего отражения. Расчёт продолжается до тех пор, пока фотон не будет поглощён, либо не выйдет за границы детектора или не попадёт на него. После чего программа заканчивает свою работу.

– Шестой этап – это тестирование программы. Тестирование программ проходит с использованием тестовой задачи, ответ которой заранее известен. (рис. 2).

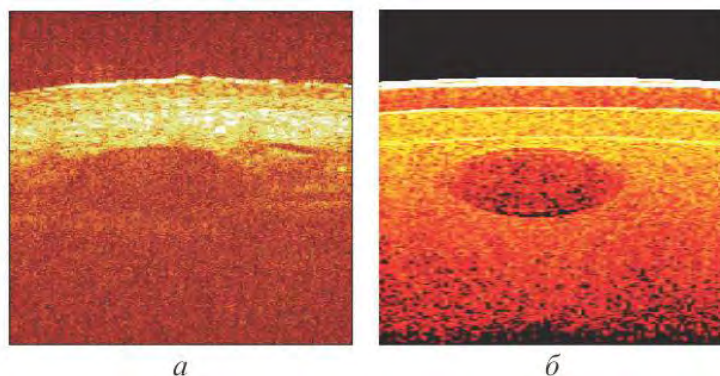


Рисунок 2 – ОКТ-скан верхних слоев ребенка, содержащий кровеносный сосуд *in vivo* (а), результат моделирования ОКТ-изображения структуры верхних слоев кожи ребенка (б).

Таким образом, разработана математическая модель переноса излучения в биологической ткани для последующего создания фантома кожи для нужд оптической томографии.

Список используемых источников

1. Фролов, С.В. Моделирование структурного изображения биологического объекта, получаемого с помощью оптической когерентной томографии методом Монте-Карло на основе воксельной геометрии среды / С.В. Фролов, А.Ю. Потлов, Д.А. Петров, С.Г. Проскурин // Квантовая электроника. – 2017. – №4 – С.347-354.

Алексеев М.В., Аистов В.С., Данилов С.Н.

**ОЦЕНИВАНИЕ КООРДИНАТ ВОЗДУШНОГО СУДНА
С УПРАВЛЕНИЕМ ПО НЕВЯЗКЕ**

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

***Аннотация.** В статье рассмотрен алгоритм отслеживания БПЛА, с помощью двух фильтров с управлением по невязке. Проведен анализ влияния системы из двух фильтров на точность оценивания параметров ЛА.*

***Ключевые слова:** контроль, отслеживание, точность, оценка, фильтрация.*

В современном мире популярность технологии беспилотного управления с каждым днем становится все больше. Вместе с популярностью растет и опасность, причиной которой могут служить беспилотные летательные аппараты (БПЛА). В связи с этим, остро встает вопрос своевременного и точного обнаружения и отслеживания БПЛА. Так как при измерении положения и скорости объекта постоянно присутствуют погрешности, причинами которых чаще всего служат внешние помехи, внутренние шумы и неточности в системе отслеживания. Поэтому необходима система вторичной обработки сигналов с выхода первичного измерителя, которая не только сможет справиться с неточностями отслеживания, но и с определенной вероятностью предскажет положение объекта в будущем на основе его положения в настоящий момент времени [1]. В основу создания такого алгоритма может быть положен принцип фильтрации в пространстве состояний [2]. Такой фильтр реализован как алгоритм, оценивающий вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений [3].

Для исследования положения объекта в качестве модели воспользуемся уравнением равноускоренного движения:

$$X_k = X_{k-1} + V_{k-1} \cdot T + \frac{a_{k-1} \cdot T^2}{2},$$

где: X_k – положение объекта в k -й момент времени; V_{k-1} – скорость объекта в момент времени $k-1$; T – шаг по времени; a_{k-1} – ускорение объекта.

Учитывая, что наиболее подходящим первичным датчиком координат является импульсный радар, перейдем от непрерывных величин к

дискретным. Воспользовавшись известной методикой [4] получим в результате алгоритм фильтра, синтезированного в пространстве состояний:

$$X_k = F \cdot X_{k-1} + U_k \cdot (Z_k - H \cdot F \cdot X_{k-1})$$

где: F – переходная матрица состояния;

X_{k-1} – вектор координат положения цели в момент времени $k-1$;

U_k – матрица оптимальных коэффициентов передачи фильтра;

H – матрица размерных весовых коэффициентов;

Z_k – вектор наблюдения.

Исходными данными для моделирования фильтра на основе этого уравнения являются: вектор первичных измерений размерностью $N=100$, среднеквадратические величины шумов измерения по дальности σ_r и скорости σ_a .

Ниже представлены графики изменения дальности и оценки дальности до наблюдаемого объекта для случая, когда $\sigma_r = 0,0002B$ и $\sigma_a = 0,002B$.

Пунктиром на графике обозначены реальные значения дальности D_k в метрах, а сплошной линией – оцененные значения (рис. 1).

На графике (рис. 2) представлена погрешность измерения дальности в метрах.

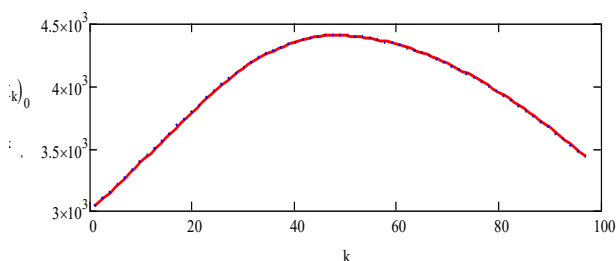


Рис.1. Реальная и оцененная дальности

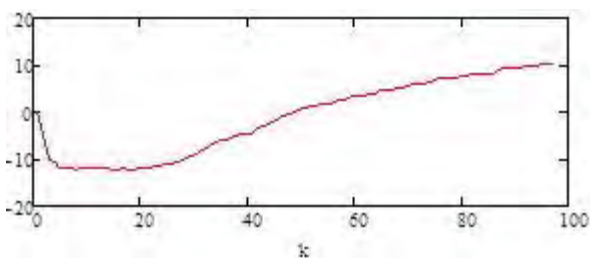


Рис.2. Погрешность измерения дальности

В представленных результатах моделирования дальность изменялась в соответствии с принятой моделью состояния. В реальности такие ситуации встречаются не часто. При маневрировании цели, а также при пролете по траверсе мимо точки наблюдения, особенно на небольшом расстоянии оцениваемый параметр изменяется резко и величина динамической ошибки сильно возрастает.

Есть два способа решения этой проблемы: либо расширять полосу фильтра слежения, либо использовать два фильтра, каждый из которых будет откалиброван под свое поведение цели. Первый способ приводит к увеличению флюктуационной составляющей ошибки, а второй к некоторому усложнению алгоритма. Но при современных возможностях цифровой техники усложнение алгоритма не большой недостаток. Поэтому был

рассмотрен способ уменьшения ошибки измерения с помощью системы, состоящей из двух фильтров, основанных на разных моделях.

Соответствующий алгоритм построен на основе двух линейных фильтров, функционирующих в предположении маневренного и обычного поведения БПЛА. Оценки дальности с выхода каждого фильтра (Ф1, Ф2) подаются на выход системы через мультиплексор. Управление мультиплексором производится на основе невязок фильтров, сглаженных фильтрами низких частот Баттерворта (ФНЧБ) с помощью компаратора.

С учетом этого предложена структура алгоритма оценивания дальности (рис. 3).

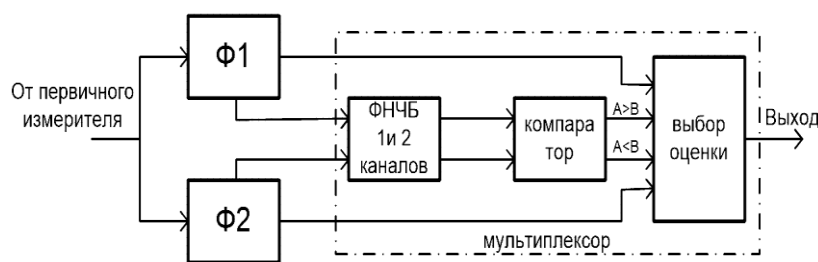


Рис.3. Структура алгоритма

Алгоритм, построенный на основе двух моделей, дает хорошие по точности оценки. Это связано с наличием моделей, которые учитывают различные типы изменений в оцениваемом параметре, и практически точным соответствием поведения сигнала либо первой модели, либо второй модели, а также с тем, что нет необходимости учитывать отличие шума наблюдения при работе на основе первой или второй модели.

В целом результаты статистического моделирования демонстрируют эффективность предлагаемого алгоритма.

В частности, при сглаживании посредством цифрового фильтра нижних частот Баттерворта (ФНЧБ) выходные данные имеют вид (рис. 4).

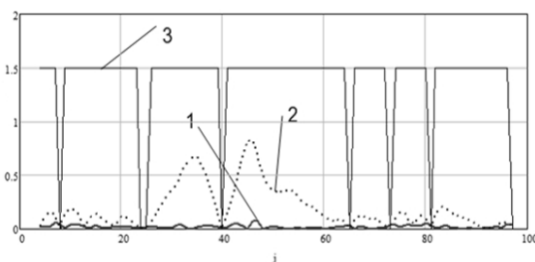


Рис. 4. Выходные данные: 1 – невязка первого фильтра; 2 – невязка второго фильтра; 3 – работа управляющего канала компаратора.

При высоком уровне кривой 3 на выход мультиплексора поступает сглаженная ФНЧБ оценка первого фильтра, при низком – второго фильтра. Для этого мультиплексор включает в себя, кроме блока сравнения

невязок (компаратора), ФНЧБ двух каналов (рис. 5). Из рисунка 6 видно, что переключения происходят редко, так как они в основном связаны с изменением динамической составляющей погрешности. Среднеквадратическая величина общей погрешности при этом для типовых условий работы снижается на 10...15% по сравнению с обычным фильтром.

Исследование частично выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-08-00523

Список использованной 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. Пудовкин А.П., Рогачёв А.И. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов./ Ю.Н. Панасюк, А.П. Пудовкин, А.И. Рогачёв// Вестник ТГТУ. – 2017. – № 4, с. 595-596.
3. Пудовкин А.П., Панасюк Ю.Н., Данилов С.Н., Москвитин С.П. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation/ Journal of Physics: Conference Series. Volume 1015, Issue 3, articleid. 032112, pp. 1
4. Данилов С.Н., Кольтюков Н.А., Чернышова Т.И., Петров С.В. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний//Вестник ТГТУ, №3, 2016, с. 374-380.

Амелина В.И., Худякова А.Д., Данилов С.Н.

МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХ ВИДОВ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

Тамбовский государственный технический университет,
Россия, Тамбов,

Аннотация. Построена модель для исследования сравнительных характеристик двух видов фазовой квадратурной модуляции. На основе модели получены реализации выходного модулированного сигнала с паразитной амплитудной модуляцией. Модель позволяет исследовать влияние фильтра обкатки на пик-фактор сигнала.

Ключевые слова: модель, модуляция, фаза, спектр, квадратура

В цифровой связи нашла широкое применение квадратурная фазовая манипуляция QPSK. Она обеспечивает очень высокую спектральную эффективность, потому что каждое значение фазы символа соответствует двум битам данных. Спектр сигнала QPSK на выходе модулятора получается очень широким (рис. 1)[1, с. 3].

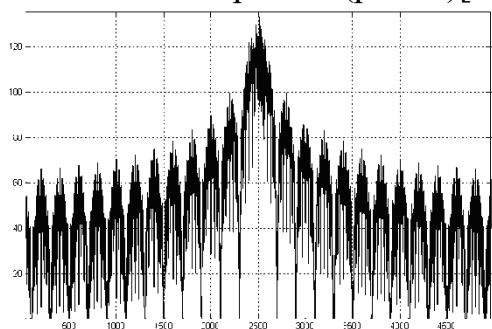


Рис. 1. Спектр сигнала QPSK Поэтому его ограничивают путем фильтрации при помощи полосового фильтра. На рисунке 2 показан пример формы передаваемого цифрового сигнала после обкатки в фильтре Найквиста. Но кроме сужения спектра сигнала, применение фильтра обкатки приводит к изменению амплитуды формируемого сигнала, как видно из рисунка 2. Влияние фильтра обкатки сказывается на диаграмме переходов от символа к символу[2, с. 138]. Разные величины полосы пропускания фильтра дают разные эффекты.

На рисунке 3 показана векторная диаграмма для сигнала, прошедшего через фильтр с конечным параметром полосы $\alpha = 0,5$.

Различные по полосе фильтры также влияют на мощность передаваемого сигнала. Чем уже полоса фильтра (меньше α), тем больше пиковая мощность. Это показывают траектории, выходящие за границы созвездия[3, с. 61].

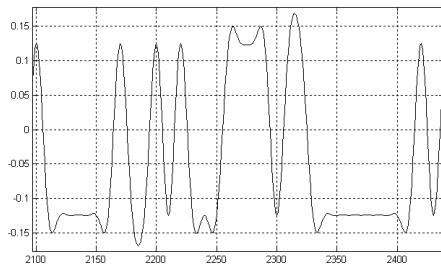


Рис. 2. Сигнал QPSK после обкатки

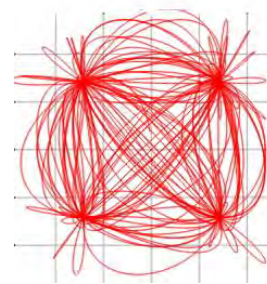


Рис. 3. Созвездие сигнала QPSK после обкатки в фильтре с параметром $\alpha = 0,2$

В результате появляется потребность в значительной избыточной мощности. Типичное значение увеличения мощности при для модуляции QPSK с фильтрацией Найквиста более чем в три раза превосходит мощность передатчика без фильтра.

Кроме того, высокое значение пик-фактора приводит к необходимости работы выходного каскада передатчика в линейном режиме с низким КПД.

Один из вариантов устранения этой проблемы – применение модифицированного вида четырехпозиционной фазовой модуляции со сдвигом квадратур Offset QPSK (OQPSK). Квадратуры сигнала QPSK сдвигают относительно друг друга на половину символьного интервала и в каждый конкретно взятый момент времени только одна квадратура меняет свое значение. Это создает диаграмму переходов состояний, существенно отличающуюся от диаграммы модуляции QPSK (рис. 4).

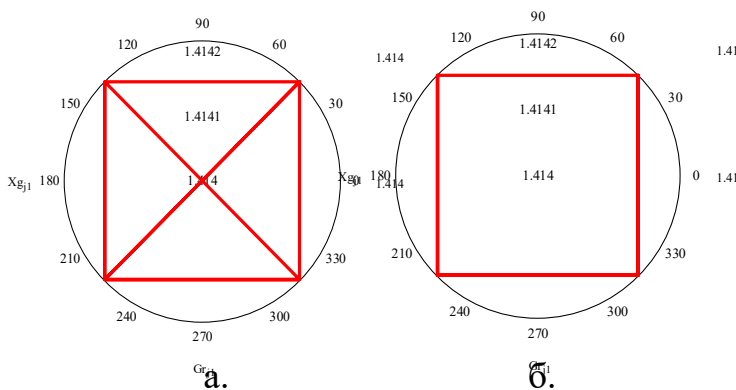


Рис. 4. а. Диаграмма для QPSK
б. Диаграмма для OQPSK

Из рисунка 4 видно, что при модуляции OQPSK переходы через ноль отсутствуют. В результате максимальное изменение амплитуды передаваемого сигнала достигает величины в 3дБ. Это значительно меньше изменения амплитуды в сигналах QPSK [4, с. 378]. В результате достигается существенный

выигрыш по коэффициенту полезного действия усилителя мощности радиопередатчика. Спектральная эффективность при модуляции OQPSK такая же, как и в случае обычной квадратурной модуляции QPSK (рис. 5).

В этой работе предложена модель QPSK-OQPSK модулятора с основным дискретом $\pi/2$, созданная на основе пакета MathCad. Все импульсы входной последовательности модулятора разбиваются на пары – двухбито-

вые символы. При переходе от символа к символу начальная фаза сигнала изменяется на величину, которая определяется битами символа[5, с. 57].

При QPSK модулирующий сигнал представляет собой последовательность четырёхпозиционных символов, выбираемых из алфавита с четырьмя двухразрядными двоичными словами (00, 01, 10, 11), которые определяют фазу модулированного колебания (рис. 6).

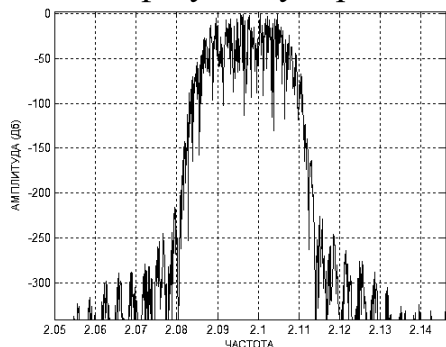


Рис. 5. Спектр сигнала с OQPSK модуляцией

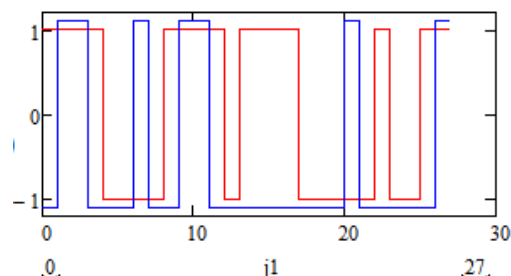


Рис. 6 Представление квадратур OQPSK сигнала в модели

Для сигналов с OQPSK все возможные значения фазы радиосигнала кратны $\pi/4$, а максимальный скачок фазы равен 135° . При этом ни одна из траекторий фазовых переходов не проходит через начало координат.

Каждая пара входных битов определяет приращение фазы несущего колебания на величину $\Delta\varphi_i$. Модель позволяет для выбранной информационной последовательности построить аналоговую реализацию сигнала на выходе ЦАП (рис. 7, сверху),

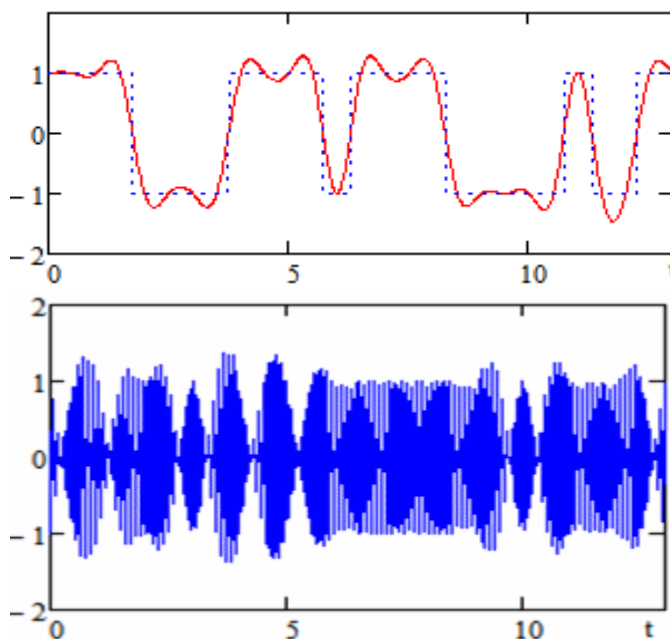


Рис. 7. Вверху - аналоговый сигнал OQPSK после обкатки; внизу высокочастотная реализация сигнала

а затем перенести его на высокую частоту (рис. 7, внизу). Далее в модели реализована приемная часть канала связи в виде синхронного детектора. На выходе модели синхронного детектора предусмотрен фильтр нижних частот Баттерворта третьего порядка.

Сигнал на демодуляцию поступает в аддитивной смеси с шумом, что позволяет оценить действие шума на количество битовых ошибок в канале связи.

Исследование частично выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-08-00523

Список использованной литературы:

1. Пудовкин А.П., Панасюк Ю.Н., Данилов С.Н., Москвитин С.П. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation//Journal of Physics: Conference Series. Volume 1015, Issue 3, article id. 032112, pp. 1-6.
2. Пудовкин А.П., Данилов С.Н., Панасюк Ю.Н. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах: монография – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. Князев И.В., Данилов С.Н., Пудовкин А.П., Панасюк Ю.Н. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов. Радиотехника. - Москва, 2013, № 9, с. 60-63.
4. Данилов С.Н., Кольтюков Н.А., Чернышова Т.И., Петров С.В. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний// Вестник ТГТУ, №3, 2016, с. 374-380.
5. 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. – 2013. – М., № 9, С 55 – 59.

Богословский Е.А., Самсонов М.В.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОСВЯЗИ С БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

***Аннотация:** в статье представлены особенности организации радиосвязи беспилотного летательного аппарата и наземной станции управления.*

***Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, наземная станция управления, радиолиния, ретрансляция.*

В настоящее время прослеживается тенденция к увеличению численности беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и сокращению количества пилотируемых летательных аппаратов, при этом происходит постоянное расширение номенклатуры БЛА и перечня решаемых ими задач.

Линия радиосвязи БЛА и наземной станцией управления (НСУ) обеспечивает в общем случае двухсторонний обмен информацией между бортовой и наземной аппаратурой. Основными задачами, решаемыми указанной линией связи, являются:

в направлении НСУ-БЛА – передача командной информации для осуществления управления полетом БЛА и работой целевого бортового оборудования;

в направлении БЛА-НСУ – передача телеметрической информации, передача информации, полученной с помощью целевого оборудования (фотоснимки, ТВ изображения и др.).

Радиолинии НСУ-БЛА и БЛА-НСУ существенно различаются по пропускной способности:

Радиолиния НСУ-БЛА представляет собой узкополосный канал связи, т.к. объем передаваемой информации, даже за полное время полета БЛА и работы его оборудования, невелик. Необходимая скорость передачи информации в этом канале в любом случае не превышает нескольких десятков Кбит/сек.

Радиолиния БЛА-НСУ должна иметь, как правило, значительно большую пропускную способность. Конкретное значение требуемой скорости передачи в значительной мере определяется назначением конкрет-

ного аппарата и показателями установленного на нем целевого оборудования.

Некоторые требования к системам связи с БЛА сведены в таблице 1

Таблица 1 — Требования к системе связи с БЛА

Тип канала связи	Передача командно-телеметрических данных	Передача данных полезной нагрузки
Вероятность битовой ошибки (BER)	не более 10^{-6}	не более 10^{-3}
Скорость передачи данных	не более 56 Кбит/с	5-10 Мбит/с
Направление передачи данных	борт-земля, земля-борт	борт-земля

Передача команд управления ведется с НСУ, а передача телеметрических данных со стороны БЛА. Требования к передаче командно-телеметрических данных на большие расстояния диктуются необходимостью постоянного контроля БЛА и необходимостью корректировать параметры полета в процессе выполнения летного задания.

На данный момент существует следующая организация связи [1]:

- канал прямой видимости;
- двойная ретрансляция;
- авиационный ретранслятор;
- спутниковый ретранслятор.

Применения КБЛА (комплекса с беспилотным летательным аппаратом) в качестве ретрансляторов связи, позволило: во-первых – обеспечить устойчивую связь на большие расстояния, во-вторых – минимизировать материальные затраты на обеспечение связи. Внедрение перспективных средств передачи информации повысит помехозащищенность радиосистемы при интенсивном радиопротиводействии, увеличит динамический диапазон и пропускную способность радиосистемы, обеспечит самореконфигурацию и модификацию радиосистемы связи.

БЛА, используемый в качестве ретранслятора связи, должен иметь большую высоту полета, большое время полета и потреблять оптимальное количество энергии, продолжительный срок службы. Это обеспечит увеличение радиуса действия штатных каналов связи и возможность повторной передачи информации.

Требования к связному ретранслятору БЛА [2]:

- передача информации между абонентами в диапазонах КВ, УКВ по каналам связи;

- увеличение дальности действий каналов связи с учетом возможности перемещения абонентов;

- ретранслятор, в качестве целевой нагрузки (ЦН), должен быть достаточно небольшим по размерам, чтобы быть установленным на БЛА;

- размеры ретранслятора должны быть приспособлены для размещения в отсеке ЦН БЛА;

- платформы БЛА должны включать прочную антенну и набор программ изменения мощности излучения, чтобы облегчить быструю реконфигурацию целевой нагрузки и интегрировать в нее передовые технологии;

- связной ретранслятор, должны быть, создан из модулей, которые содержат специальные возможности для каналов связи, которые могут быть добавлены или удалены без ущерба на остальные элементы ЦН.

В комплексах связи на БЛА применяются, в основном, ненаправленные или слабонаправленные антенные системы, обладающие низкой энергетической эффективностью. Зона электромагнитной доступности ненаправленных антенных систем имеет большую площадь, что увеличивает возможность несанкционированного доступа к сигналам радиосистемы, осложняет электромагнитную обстановку, а также снижает помехозащищенность ретранслятора связи [1].

Обеспечение надежности канала «Земля-БЛА» для КБЛА, использующих направленные антенные системы, достигается низкой скоростью передачи данных по каналу управления «Земля-БЛА» и нацеливанием друг на друга направленных антенн НСУ и БЛА (в этом случае для создания помех их источнику надо быть мощным, направленным и расположенным поблизости) [3].

Особенности канала «борт-БЛА» [3]:

- наземная направленная антенна с очень узким лучом (около 1,5 градуса сферических);

- направленная антенна БЛА должна осуществлять передачу данных в направлении наземной станции.

Перспективным направлением развития радиосвязи на БЛА является использование цифровых антенных решеток. К ним предъявляется ряд требований, одним из которых является определение пространственного положения БЛА с требуемым качеством.

Таким образом, организация радиосвязи с беспилотным летательным аппаратом определяется во – первых специальными выполняемыми ими задач и во – вторых наличием специальной целевой нагрузки на борту (приемо – передающей аппаратурой). Анализ решаемых БЛА задач позволяет выдвинуть требования к характеристикам ЦН БЛА.

Список использованной литературы

1. Богословский Е.А., Белоусов Д.Н. Возможность повышения эффективности подсистемы связи и радиотехнического обеспечения полетов в авиационной части V Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации». ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж) –2015– 191с.
2. Ганин С.М., Карпенко А.В., Колногоров В.В., Петров Г.Ф. Беспилотные летательные аппараты. С.Пб.: «Невский Бастион».–1999. –160с.
3. Васильев В.П., Родионов Д.В. Использование малогабаритных беспилотных летательных аппаратов в качестве ретранслятора связи. II Всероссийская НПК «Академические жуковские чтения». Сборник статей. ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)–2016– 188с.

Букин М.В.¹, Пудовкин А.П.²

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОСНОВАННАЯ НА ВЫБОРЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ КАЧЕСТВО ЕЁ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

¹Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и
Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Аннотация: Предложена методика оценки эффективности функционирования средств радиотехнического обеспечения полётов, основанная на выборе информационных параметров радиотехнических систем.

Ключевые слова: вектор информационных параметров, матрица ковариаций.

Качество функционирования радиотехнических систем (РТС) и комплексов определяется значениями ряда параметров, отражающих выходной эффект системы. Другими словами конкретная РТС предназначена для решения вполне определенных задач и поэтому показатели качества функционирования должны быть выбраны такие, которые показывали бы качественный уровень решения поставленных задач. Такими параметрами являются информационные параметры, так как они обеспечивают решение задачи, которая поставлена для данной РТС. Если в общем виде принимаемый сигнал $U(t)$ может быть представлен, как

$$U(t) = S(t, \lambda, \alpha) + n(t), \quad (1)$$

где λ - многомерный вектор информационных параметров (на практике размерностью не более трех, четырех); α - многомерный вектор неинформационных параметров, но влияющих на качество приёма (на практике размерностью не более двух, трех); $n(t)$ - в общем случае шумовая или помеховая составляющая, либо и то и другое совместно.

Так как в рамках сформулированной задачи наибольший интерес представляет только вектор информационных параметров λ , то далее будет рассматриваться модель принимаемого колебания вида:

$$U(t) = S(t, \lambda) + n(t). \quad (2)$$

Очевидно, что качество функционирования РТС будет определяться тем, каким образом получены значения информационных параметров λ_i , где $i = 1, 2, \dots, n$, n - общее число выделяемых информационных параметров, т.е. какие использованы алгоритмы обработки принимаемых сигналов (оптимальные, квазиоптимальные, неоптимальные и т.д.), и каковы получающиеся при этом статистические характеристики оценок информационных параметров λ_i . Причем эти оценки рассматриваются для конкретных условий эксплуатации [1].

Полагаем, что функция $S(t, \lambda)$ является полностью известной функцией времени, равной математическому ожиданию процесса $U(t)$, а сам процесс $U(t)$ является гауссовским, центрированная часть которого совпадает с составляющей $n(t)$.

Общим критерием качества при байесовском подходе является средний риск. Однако при оценивании параметров сигнала качество функционирования РТС практически всегда характеризуется средним квадратом ошибки или дисперсией ошибок, к которым сводится средний риск при использовании квадратичной функции потерь. При этом оптимальной оценкой ${}^* \lambda_{i\bar{i}\bar{o}} = {}^* \lambda_{1\bar{i}\bar{o}}, {}^* \lambda_{2\bar{i}\bar{o}}, \dots, {}^* \lambda_{n\bar{i}\bar{o}}$ в общем случае векторного параметра $\lambda = \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ является оценка в виде

$${}^* \lambda_{i\bar{i}\bar{o}} = \int_{\Lambda} \lambda_i P(\lambda/U) d\lambda; i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

дисперсия которой при данном значении $U(t)$ равна

$$\sigma_i^2 = \int_{\Lambda} (\lambda_i - {}^* \lambda_{i\bar{i}\bar{o}})^2 P(\lambda/U) d\lambda, \quad (4)$$

где $P(\lambda/U)$ - условное апостериорное распределение вектора параметров λ .

В условиях, достаточно высокой степени точности измерений апостериорное распределение $P(\lambda/U)$ можно заменить функцией правдоподобия

$$P(\lambda/U) = KP(U/\lambda), \quad (5)$$

где $K = \left[\int_{\Lambda} P(U/\lambda) d\lambda \right]^{-1}$.

Тогда оценка по формуле (2) совпадает с оценкой по максимуму правдоподобия $\lambda_m = \lambda_{1_m}, \lambda_{2_m}, \dots, \lambda_{n_m}$.

Соответственно матрица ковариаций $\|\sum ij\|_{\lambda}$ любой несмещенной оценки ${}^*\lambda = {}^*\lambda_1, {}^*\lambda_2, \dots, {}^*\lambda_n$ удовлетворяет матричному неравенству

$$\|\sum ij\|_{\lambda} = \langle ({}^*\lambda - \lambda)({}^*\lambda - \lambda)^T \rangle \geq \Phi^{-1}, \quad (6)$$

где T - знак транспонирования; $\langle \bullet \rangle$ - знак математического ожидания; $\Phi^{-1} = \|\Phi ij^{-1}\|$ - матрица, обратная матрице Фишера $\|\Phi ij\|$ [4]. т.е.

$$\Phi ij = - \langle \frac{\partial^2}{\partial \lambda_i \partial \lambda_j} \ln P(U / \lambda) \rangle, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Неравенство (7) показывает, что матрица Φ^{-1} является теоретически предельной матрицей ковариаций ошибок измерения параметров $\lambda = \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. При этом теоретически предельная дисперсия несмещенной оценки ${}^*\lambda_i$ параметра λ_i , определяется диагональным элементом матрицы Φ^{-1} , т.е.

$$\|\sum ii\|_{\lambda} = \langle ({}^*\lambda_i - \lambda_i)^2 \rangle \geq \Phi ii^{-1}. \quad (8)$$

Приведенные соотношения позволяют оценить качество функционирования РТС в определённых условиях эксплуатации по всем информационным параметрам.

Несколько иная задача возникает, когда необходимо сравнить качество функционирования средств в различных условиях эксплуатации [2]. Для этой ситуации в качестве обобщённого показателя уровня функционирования РТС целесообразно выбрать какой-либо определяющий параметр, а остальные параметры следует стремиться поддерживать на заданном уровне. В то же время для любых произвольно взятых средств невозможно выбрать определяющий параметр.

Для радионавигационных систем (РНС) определяющим параметром будет один из показателей, входящих в матрицу ковариаций $\|\sum ij\|_{\lambda}$, которые определяют основное назначение системы (дисперсия ошибки измерения дальности для дальномерной РНС, дисперсия ошибки измерения высоты для высотомера, дисперсия ошибки измерения угла для угломерных РНС). Возможно для РНС определяющий параметр взять в виде взвешенной суммы информационных параметров, где все веса берутся одинаково, т.е.

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n K_i \lambda_i, \quad K_i = \frac{1}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Соответствующие показатели можно взять для оценки эффективно-го использования РНС и для оценки качества функционирования в различных условиях эксплуатации. Сами оценки можно представить в виде, аналогичном соотношениям (8).

Работа выполнена частично при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 14-08-00523а

Библиографический список

1. Острейковский, В.А. Теория систем. – М: Высшая школа, 1997. - 240 с.
2. Черняков, М.В. Модернизированная методика оценки эффективности радиотехнического обеспечения полётов / М.В. Черняков, А.Н. Белясов // Научный вестник МГТУ ГА. Сер. Радиофизика и радиотехника.-2002.- №54.- с.37-51.

Гоберкорн Л.Б.

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЦИФРОВОГО ТВ СИГНАЛА

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

В настоящее время в связи с переходом на цифровые технологии распространения телерадиосигналов возросла роль единой системы технического контроля. Эффективность таких систем определяется уровнем качества работы каждого передатчика и канала передачи данных, состояние которых должно непрерывно контролироваться, а любое нарушение немедленно отслеживаться и устраняться. Кроме того, анализ данных контроля позволяет прогнозировать сбои и отказы аппаратной инфраструктуры, контролировать передаваемый полезный сигнал в общем канале данных, расширять зону покрытия, самовосстанавливать сеть при отказе одного из оборудования.

Основную нагрузку в системе оперативного мониторинга в системе цифрового вещания несет блок СДК, который предназначен для слежения за техническими характеристиками сети вещания (сбои, нарушения, сторонние подключения и т.д.). Для оперативного выполнения действий по определению технических проблем по оповещению агента Zabbix через web интерфейс СДК необходимо опросить устройства и по полученной информации принять действия для устранения аварии. Для устранения внештатной ситуации с подачей сигнала необходимо переключить подачу цифрового тракта с основного на резервный приемник на вход передатчика. Это возможно сделать через интерфейс СДК. Необходимо посредством СДК установить связь с коммутатором подачи сигнала и изменить вход подачи. Всё это требует от человека-оператора больших временных затрат и потерю вещательного сигнала в эфирной сетке, что доставляет проблемы конечному пользователю. Данная ситуация не допустима в вещательном процессе. Для оперативного устранения срыва вещания в имеющуюся систему, отвечающую за дистанционный контроль сигнала, необходимо добавить возможность прямого управления. Разработанное программное обеспечение «Управление коммутатором», написанное на языке C++ Visual Studio, позволяет организовать прямой доступ к коммутаторам, на которые поступает основной и резервный сигнал со спутниковых приемников.

Данное ПО позволяет человеку-оператору опросить коммутатор пункта, оперативно управлять перераспределением подачи сигнала на базовых станциях, совершать и планировать перезагрузки системы, а так же сократить время нарушения вещания в эфире. В случае если нарушение вещание связано с пропаданием основного потока вещательного спутника разработанное программное обеспечение позволяет переключить все коммутаторы всех пунктов вещания одновременно. А также в оперативном режиме опрашивать подключенные коммутаторы на предмет ошибок, управлять перераспределением потоков на вещательных коммутаторах, совершать и планировать опрос системы, а так же сократить время нарушения вещания в эфире. В совокупности повысится отказоустойчивость системы, ускорит её работу, а так же регулировать приоритетный доступ в общий канал передаваемого сигнала.

Список использованной литературы.

1. Muromtzev, D., Chernyshov, N. Features of creation of power saving control systems on set operation conditions. Allerton Press, Inc., New York/Automatic Control and Computer Sciences. 2008.-Volume 42, Number 3, p.163-168.
2. Чернышов Н.Г. Система управления удалёнными динамическими объектами с использованием принципов когнитивной графики/ Н.Г. Чернышов, О.А. Белоусов// Автоматизация и современные технологии.- 2010. - №7.- С. 28-33.
3. Чернышов Н.Г., Дворецкий С.И. Разработка систем оптимального управления энергоёмкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee/ Радиотехника. 2013.№9.С.87-97.

Дмитриев О.С. Барсуков А.А.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ОТВЕРЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Тамбовский государственный технический университет

Аннотация. В данной работе рассмотрена возможность моделирования кинетических характеристик процесса отверждения полимерных композитов (на примере углепластика) с применением искусственных нейронных сетей и нейросетевого моделирования.

Ключевые слова: кинетическая характеристика, полимерные композиты, нейронные сети

В текущий момент времени, полимерные композиты (ПК) применяются во всех областях промышленности и техники, заменяя многие традиционные материалы. Качество и эффективность производства изделий из ПК, в основном зависит от оптимального температурно-временного режима отверждения. С целью оптимизации процесса отверждения, применяются различные математические модели, определяются как опытным так и расчетным путем, следующие параметры процесса отверждения: кинетические, реологические, теплофизические и другие характеристики отверждения ПК [1, 2].

Для определения кинетических характеристик процесса отверждения ПК известны различные методы и математические модели. Но, не все из моделей кинетики одинаково точно могут описать зависимости кинетической функции для каждого режима отверждения ПК. С целью упрощения моделирования, предлагается использовать нейронные сети (НС) [3, 4].

Целью работы является проверка возможности и целесообразности применения нейронной сети для прогнозирования кинетической функции $\phi(\beta)$. При математическом моделировании режима отверждения полимера, необходимо провести аппроксимацию кинетической функции $\phi(\beta)$ в пределах изменения степени отверждения β от 0 до 1, и вычислить энергию активации. Энергия активации определяется экспериментально и мало зависит от степени отверждения, следовательно, данное значение можно представить в качестве постоянной E . Далее, кинетическую функцию аппроксимируют по одной из нижеприведенных моделей (табл. 1)

Таблица 1. Модели аппроксимации кинетической функции

Модель 1	Модель 2	Модель 3
$\phi(\beta) = K(1 - \beta)^m$	$\phi(\beta) = K\beta^n(1 - \beta)^m$	$\phi(\beta) = K(1 - \beta)(1 + k_0\beta)$
$K = 1,093 \cdot 10^6$	$K = 1,15 \cdot 10^6$	$K = 1,15 \cdot 10^6$
$m = 1,25$	$m = 1,26$	$k_0 = -0,66$
	$n = 0,02$	

где, n – порядок химической реакции, K – константа скорости химической реакции. Порядок химической реакции и константа определяются на основе эксперимента и являются эмпирически вычисленными постоянными для каждого отдельного вида ПК, а так же они зависят химических свойств процесса отверждения [5].

Таким образом, для поиска оптимальной модели аппроксимации кинетической функции, предлагается использовать нейронную сеть. При прогнозировании кинетической функции был использован массив экспериментальных и расчетной информации, в котором содержатся зависимости кинетической функции $\phi(\beta)$ от степени отверждения β вычисленные по вышеописанным формулам. Анализ данных проводился методом нейросетевого моделирования, по трем различным типам нейронных сетей: метод Левенберга-Марквардта, метод Байесовой регуляризации и масштабированный метод сопряженных градиентов. Для построения НС использовался программный комплекс MATLAB с подключенным плагином NEURONFITTINGTOOLS. Для построения НС задавался целевой вектор, которым являлись значения кинетической функции, определенные с использованием формул моделей 1–3.

При прогнозировании, НС осуществляет полный перебор значений степени отверждения β от 0 до 1 с шагом в 0,01. Результатом моделирования стала расчетная зависимость степени отверждения β от $\ln \phi(\beta)$ (рис. 1), а так же значения кинетической функции. Сравнивая прогнозные данные с значениями полученными в результате эксперимента, выяснилось, что НС точно прогнозирует зависимость $\ln \phi(\beta)$ при $\beta > 0,1$. Объяснить расхождение результатов моделирования и эксперимента на участке $\beta < 0,1$, можно большими погрешностями при проведении экспериментального определения мощности тепловыделений на начальном этапе [6].

Результатом данной работы является НС прогнозирующая процесс изменения кинетической функции углепластика при его отверждении. Это подтвердило актуальность и применимость использования НС, как одного из инструментов при моделировании процесса отверждения ПК. Однако, НС требует определения эмпирических параметров моделей кинетики. Таким образом, актуальна дальнейшая разработка системы обработки экспериментальных данных на основе НС. Данная система позволит

определять в автоматическом режиме все необходимые кинетические характеристики процесса отверждения только на основе экспериментальных данных, без выполнения промежуточных вычислений и подбора подходящих аппроксимирующих моделей.

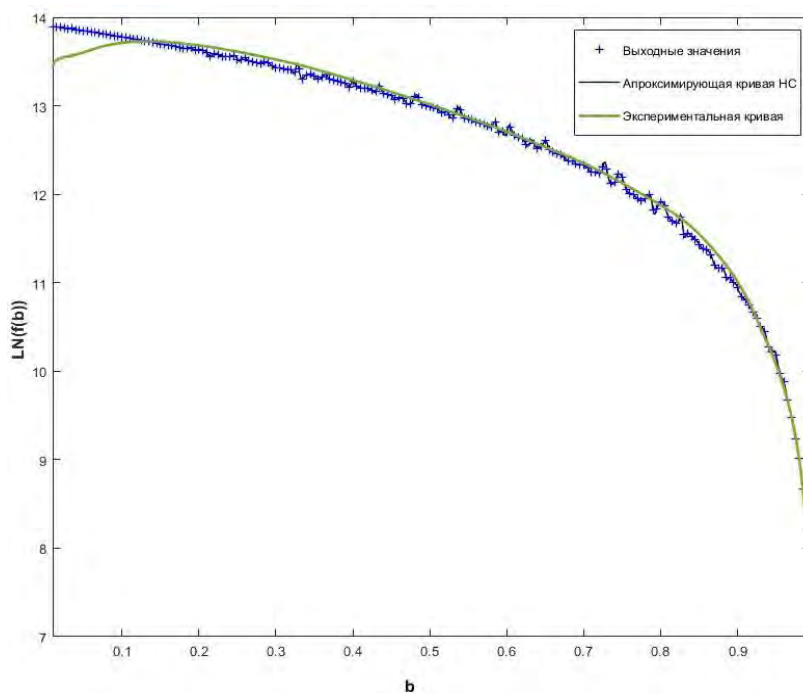


Рисунок 1. Результаты моделирования кинетической функции

Список использованной литературы

1. Оптимизация режима отверждения изделий из полимерных композитов на основе клеевых препрегов / О.С. Дмитриев [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. - 2009. - №5. - С. 17-24.
2. Мищенко, С. В. Автоматизированная система исследования процесса отверждения композиционных полимерных материалов / С. В. Мищенко, О. С. Дмитриев, Н. П. Пучков // Промышленная теплотехника. - 1989. - Т. 11, № 5. - С. 79-84.
3. Дмитриев, О.С. Метод исследования параметров текучести связующего при отверждении композитов / О.С. Дмитриев, С.В. Мищенко, А.О. Дмитриев // Вестник ТГТУ. - 2005. –Т. 11. №1. - С. 53-61.
4. Advanced integral isoconversional analysis for evaluating and predicting the kinetic parameters of the curing reaction of epoxy prepreg / M. Vafayan [etc.] // ThermochemicaActa. - 2013. - Т. 557. - С. 37–43.
5. Дмитриев, О. С. Исследование кинетики отверждения полимерных композитов калориметрическим методом / О. С. Дмитриев, А. А. Барсуков // В сборнике: Информационно-сенсорные системы в теплофизических исследованиях: XI Международная теплофизическая школа. - 2018. - С. 238-241.
6. Мищенко Ц.Б., Романенко Г.В., Дмитриев О.С. Алгоритмы оптимальной фильтрации температурных измерений теплофизического эксперимента // Вестник ТГТУ. 1999. - Т. 5, № 4. - С. 489-496.

Дутов М.Н., Образцов Д.В., Чернышов В.Н.

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СИНТЕЗА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

***Аннотация:** Рассмотрен метод адаптивного управления технологическим процессом вакуумного напыления тонкопленочных структур. Создана измерительно-управляющая система и на ее основе проведена экспериментальная апробация предложенного метода. Полученные результаты позволили определить оптимальные технологические параметры для синтеза тонких пленок с заданной топологией.*

***Ключевые слова:** адаптивное управление, технологический контроль, вакуумное напыление, тонкие пленки.*

Применение тонкопленочных структур с заданными функциональными параметрами находит широкое применение в микроэлектронике, химической промышленности, энергетике, космической технике. Однако на сегодняшний день невозможно массовое применение таких функциональных материалов в связи с их значительной стоимостью, и необходимостью сложного и прецизионного оборудования [1].

Основной сложность в получении тонкопленочных структур с заданными параметрами является сильная зависимость их топологии от физико-химических параметров подложки, на которую они наносятся, а также методов и технологических параметров их нанесения.

Для получения тонкопленочных структур с заданными параметрами предлагается метод адаптивного управления процессом синтеза тонкопленочных структур. Суть метода заключается в проведении контроля топологии пленочных структур непосредственно в процессе их роста и управлении технологическим процессом для получения пленочных структур с заданными топологическими параметрами [2].

Экспериментальное исследование процесса формирования структурированных тонких пленок проводили на установке вакуумного напыления УВН-71П [3]. Измерительно-управляющая система производила автоматическую запись основных технологических параметров вакуумной установки и выдавала управляющие сигналы для внесения изменений в режимные параметры технологического процесса напыления с целью получения пленочной структуры заданных параметров.

Каждую партию подложек с напыленными пленками исследовали на просвечивающем электронном микроскопе и по результатам исследований вносили изменения в программное обеспечение измерительно-управляющей системы.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 09-08-01171-а Исследование и создание сенсорных систем обнаружения и идентификации нанобъектов в экологических средах

Список используемых источников

1. Борило Л.П., Шульпеков А.М., Турецкова О.В., Александрова Е.А. Структура и свойства тонкопленочных покрытий на основе оксидов циркония, кобальта и железа / Материалы Российской науч.-практич. конф. «Химия редких и редкоземельных элементов и современные материалы». Томск: Изд-во ТГУ, 2001. С.75-77
2. Дутов М.Н., Образцов Д.В., Шелохвостов В.П., Макачук М.В. Методика определения углеродных наноструктурных материалов полученных в низкотемпературной плазме // Актуальные проблемы нано- и микроэлектроники: тез. докл. Всеросс. научн. школы 7-8 июля 2011. С. 100–101.
3. Образцов Д.В., Чернышов В.Н., Шахнов В.А. Активный технологический контроль синтеза тонких пленок при производстве сверхбольших интегральных схем / Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. 2017. № 6 (117). С. 17-27.

Дьяченко В.А., Афанасьев А.Д., Головченко Е.В.

ПОКАЗАТЕЛЬ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ АВИАЦИОННОЙ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация: в статье предлагается показатель оценки устойчивости авиационных инфокоммуникационных сетей, учитывающий влияние как внешних, так и внутренних факторов, влияющих на устойчивость сети, а также целенаправленность ее функционирования.

Ключевые слова: авиационная инфокоммуникационная сеть, устойчивость сети, производительность сети, связность, блокирование.

В настоящее время устойчивость функционирования сетей связи оценивается вероятностью связности на основе значений коэффициентов готовности и оперативной готовности сетевых элементов [1], при этом качество предоставляемых видов и услуг связи, а также значение пропускной способности сети не учитывается. С другой стороны качество предоставляемых услуг связи, качество и эффективность функционирования сети оценивается рядом других показателей [2, 3], но они в свою очередь не позволяют учесть воздействие деструктивных факторов.

Например, в [2] рассматривается показатель для оценки эффективности функционирования сети связи и ее элементов, основанный на соотношении полезного эффекта функционирования сети связи и затрат на нее. Расчет данного показателя включает построение метрического пространства показателей качества функционирования и вычисление обобщенного показателя – объема сети:

$$W = \Pi \times V \times T, \quad (1)$$

где Π – производительность сети, V – скорость передачи информации в сети, T – точность передачи информации в сети и затем показателя Ливн, представляющего собой удельную себестоимость:

$$Y = \frac{C}{W}, \quad (2)$$

где C – затраты на организацию и эксплуатацию сети связи.

Достоинством данного показателя сети можно считать его практическую применимость для реально существующих или проектируемых сетей.

В то же время такое объединение нескольких показателей в один может привести к компенсации недостатка одного показателя за счет другого. И значения объема сети и, соответственно, удельной стоимости могут не отражать степень достижения цели функционирования сети. Например, произведение близких по физическому смыслу показателей – производительности и скорости передачи не несет ясный физический смысл и, тем более, не отражает целевую направленность рассматриваемой сети.

В [3] в качестве показателя оценки информационного обмена предложен коэффициент полезного действия, как универсальный обобщенный параметр. Данный показатель характеризует информационные возможности системы связи и показывает ее степень близости к предельным возможностям по передаче информации:

$$\eta = \frac{KW}{KW_{полн}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $KW = N \cdot G|_T$ – кибернетическая мощность системы связи, N – количество информационных сообщений в системе связи, G – производительность системы связи, T – временной интервал усреднения;

$KW_{полн} = \sum_{i=1}^n \left(N_i \cdot \sum_{k=1}^s C_{k,i} \right)$ – полная кибернетическая мощность системы связи, N_i – емкости буферов запоминающих устройств, n – количество буферов запоминающего устройства, $C_{k,i}$ – пропускные способности каналов связи, обслуживающие i -й буфер, s – число каналов связи, обслуживающих каждый буфер.

С целью учета воздействия помех значение коэффициента полезного действия уточняется:

$$\eta_{ном} = -\eta \cdot \lg P_{ош}, \quad (4)$$

где $P_{ош} = N_{ош} / N_{общ}$ – вероятность ошибки приема одиночной элементарной посылки, $N_{общ}$ – общее число одиночных элементарных посылок, $N_{ош}$ – число ошибочно принятых одиночных посылок.

Следует отметить, что данный показатель не отражает целенаправленность функционирования сети – для КПД необходимо устремлять производительность сети к суммарным пропускным способностям всех линий связи. При этом требования вышележащей системы по качеству предоставляемых видов и услуг связи, а также их качеству не учитываются.

Другим фактором, ограничивающим применение данного показателя, является невозможность учитывать воздействие помех на линии связи при значениях вероятности ошибки одиночной элементарной посылки менее значения 10^{-1} . Известно [1, 4], что нормальная работа канала может быть обеспечена при значениях вероятности ошибки не более $10^{-4}..10^{-5}$. В результате чего, линии связи с вероятностью ошибки более 10^{-1} можно уже считать непригодными для использования по назначению и, соответственно, учитывать его значение нецелесообразно.

Предложенные показатели [2, 3] оценки функционирования сети связи характеризуют в первую очередь технические аспекты функционирования сети и не отражают целенаправленности функционирования сети.

В работе [5] в качестве показателя эффективности функционирования сети связи предлагается использовать риск средних и общих материальных потерь, которые несет пользователь из-за неверно переданной сетью связи информации. Достоинством такого подхода является то, что оценка эффективности функционирования сети осуществляется с учетом требований надсистемы, то есть системы управления, в интересах которой она развернута и функционирует. Можно считать, что передаваемая информация необходима для принятия какого-либо решения. Запаздывание, изменение или утрата необходимой информации приводит к ошибочности принимаемого решения и, соответственно, приводит к материальным потерям. В подавляющем большинстве случаев это имеет негативные последствия, поэтому эффективность функционирования сети связи целесообразнее оценивать не по положительному эффекту, а по отрицательному, то есть определять вызванный указанными выше причинами ущерб. При этом под риском R понимается произведение потерь G при неправильно переданной информации на вероятность P возникновения этих потерь [5]:

$$R = P \cdot G. \quad (5)$$

Данный показатель в определенной степени отражает целенаправленность функционирования сети связи. Тем не менее, значительной сложностью является определение показателя потерь и его зависимости от показателей функционирования сети связи. Это ограничивает применимость данного показателя для оценки реальных систем и значительно усложняет физический смысл численных значений.

Актуальной является задача разработки и обоснования показателя потерь, а так же определение аналитических зависимостей выбранного показателя от показателей функционирования сети, что является задачей дальнейших исследований в данной предметной области.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 53111 – 2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. – М.: Стандартиформ, 2009. – 19 с.
2. Карганов В.В., Расчесова А.Г., Кудряшов В.А. Показатель оценки эффективности систем связи и их элементов // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2016. № 1 (236). С. 7-14.
3. Патент RU 2602347 С1. Способ оценки эффективности информационного обмена системы связи.
4. Recommendation ITU-T Y.1541 (12/2011). Network performance objectives for IP-based services.
5. Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. – М.: Горячая линия Телеком, 2006. – 598 с.

Зацепин Е.П., Жуков В.С.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВІМ МОДЕЛЕЙ

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)

***Аннотация:** В данной статье были рассмотрены принцип работы лазерного проектирования, его преимущества и виды, которые используются на практике.*

***Ключевые слова:** ВІМ-технологии, методы и средства контроля в эффективных технических системах, лазерное сканирование.*

В основе лазерного проектирования лежит принцип обработки информации сканирующих лучей высокой плотности в результате точечных замеров лазерными сканерами. Для того, чтобы оценить удаленность замеряемого объекта от источника излучения лазера, используют эффект Доплера, согласно которому расстояние от источника волны до измеряемого объекта оценивается за счет времени возвращения волны обратно к её источнику, при этом за секунду могут отправляться тысячи лучей с точностью до миллиметра. Итогом работы такого лазерного сканера становится облако точек, где каждая точка этого облака обладает своими координатами в базисе декартовой системы координат, тем самым формируя поверхность тела. Изучением данного вопроса занимались Шаповалов А.С. и Липатова А.А. В своих статьях [1, 2] они поднимали вопрос о практическом применении информационных и графических технологий для проектирования ВІМмоделей. Внимательно изучив данные статьи, нами были более детально изучены методы и средства контроля процесса проектирования технических объектов на примере лазерного сканирования.

Данная технология обладает следующими преимуществами:

- отличная точность и скорость работы лазерного оборудования;
- высокая детализация получаемой модели;
- отсутствие антропологических факторов на результат измерения.

На данный момент различают три вида лазерного сканирования:

- Наземное - позволяет решать задачи создания высокоточных моделей. Недостаток – низкая производительность.
- Мобильное - идеально подходит для съемки ограниченного пространства.

Недостатками является недоступность плоских поверхностей и то, что преградой могут стать различные объекты.

- Воздушное - находит широкое применение для получения модели линейных и площадных объектов с точностью от 60 до 90 мм. Недостатком является низкая детализация при съёмке вертикальных объектов.

Заключение: В данной статье был подробно рассмотрен принцип работы лазерного проектирования, его преимущества и недостатки при использовании в BIM-проектировании. Подводя итоги нами было выдвинуто предположение о том, что продвижение использования принципов лазерного проектирования несет в себе большую практическую значимость как для эксплуатации объектов электроэнергетики, так и для создания их цифровых двойников. Исследованию данного предположения и будут посвящены наши дальнейшие исследования.

Исследование выполнено частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 17-48-480083 p_a

Список использованных источников

1. Шаповалов, А.С. Применение лазерного сканирования в BIM [Текст] / А.С. Шаповалов // Информационные и графические технологии в профессиональной и научной деятельности: сб. статей. – Тюмень, 2019 – С.205-207.
2. Методика SCAN-TO-BIM при создании 3D-модели существующего промышленного объекта [Текст] / А.А. Липатова, С.А. Лыткин, Д.Ю. Волгин, В.М. Самсонова, В.Л. Баденко // Неделя науки СПбПУ: материалы конференции. – Санкт-Петербург, 2019 – С. 259-262.

Иванов А.В., Иванов А.А.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ И ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА НАВИГАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ

Тамбовский государственный технический университет,
Московский институт радиоэлектроники и автоматики

Введение. В работах [1 – 4] методами марковской теории оптимального оценивания были получены комплексные адаптивные алгоритмы обработки информации, в том числе и квазиоптимальные, в навигационных комплексах наземных подвижных объектов (ПНО). Новизной данных алгоритмов, отличающей их от всех известных, является возможность решать задачу оценивания навигационных данных (координат местоположения объекта, параметров движения объекта) совместно с задачами обнаружения радиосигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС) на входе приемного устройства и контролем целостности навигационных данных СРНС. Качественная оценка характеристик точности определения координат местоположения и параметров движения подвижного наземного объекта, а также помехоустойчивости синтезированных алгоритмов обычно выполняется на основе численного решения уравнений Рикатти.

Оценка точности. При выполнении расчетов характеристик точности и помехоустойчивости выбиралось оптимальное созвездие из четырех навигационных спутников (НС) т.е. считалось, что ПНО находится в центре правильного тетраэдра. При этом условно обозначалось, что первый спутник находится в зените, второй, третий и четвертый лежат в плоскости горизонта и разнесены по 120° . НС находятся на круговых орбитах. Конфигурация спутников представлена на рисунке 1.

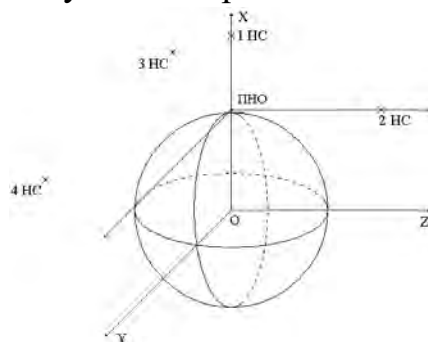


Рисунок 1

На рисунке 2 приведены зависимости относительных апостериорных дисперсий ошибок оценивания $\delta_{ii} = k_{ii}(t)/k_{ii}(t_0)$ компонент вектора

состояния от времени при постоянных одинаковых значениях отношения сигнал/шум на входе всех каналов СРНС q_1 , а именно широты $\varphi(\delta_{11})$, фазы сигнала СРНС $\psi(\delta_{1010})$, постоянного сдвига по дальности $\delta d(\delta_{1818})$ горизонтальных составляющих вектора скорости ПНО $V_N(\delta_{55})$, $V_E(\delta_{66})$ в геоцентрической системе координат и скорость изменения рельефа местности $V_p(\delta_{77})$.

Из расчетов следует, что установившийся режим оценивания параметров $\varphi(\delta_{11}(t))$, $\delta d(\delta_{1818}(t))$, $\psi_i(\delta_{1010}(t))$ наступает за время порядка 9с, а параметров $V_N(\delta_{55}(t))$, $V_E(\delta_{66}(t))$, $V_p(\delta_{77}(t))$ - за время порядка 0,08с.

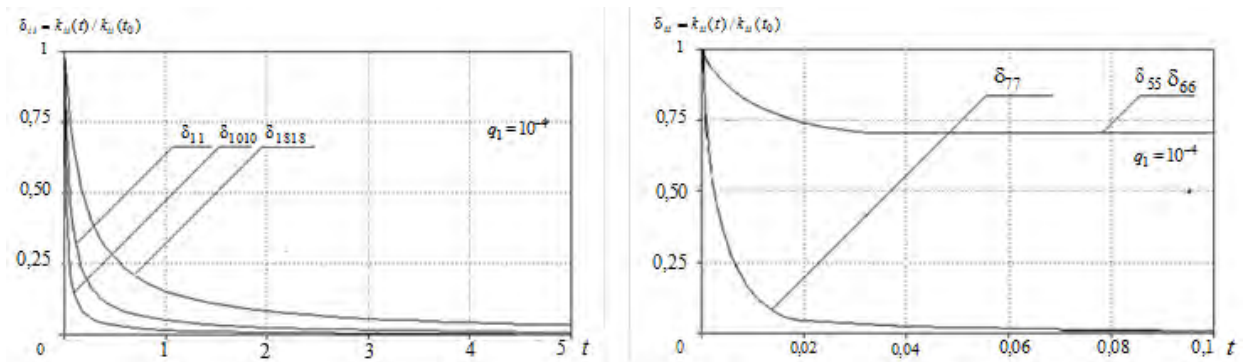


Рисунок 2

Расчеты показали, что разработанный навигационный комплекс обладает высокими характеристиками точности, среднее квадратическое значение ошибки определения радиальной погрешности определения координат местоположения ПНО составляет значение $\sigma_D = 0,11 м$.

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

Список использованной литературы

1. Иванов, А.В. Квазиоптимальные алгоритмы обнаружения, идентификации и адаптивного оценивания для обработки информации в навигационных системах наземных подвижных объектов на основе спутниковых радионавигационных систем/ А.В. Иванов, Д.В. Комраков, О.В. Сурков//Радиотехника и электроника - 2020 – №6 (65) – С. 568-577.
2. Иванов, А.В. Применение гауссовской аппроксимации в алгоритмах идентификации и адаптивного оценивания, используемых в навигационных системах наземных подвижных объектов на основе спутниковых радионавигационных систем/ А.В. Иванов, О.В. Сурков, Н.А.Лежнева//Успехи современной радиоэлектроники– 2020– №3 – С. 38-46.

3. Иванов, А.В. Алгоритмы адаптивного оценивания и идентификации для навигационных систем подвижных наземных объектов на основе спутниковых радионавигационных систем/ А.В. Иванов, О.В. Сурков //Успехи современной радиоэлектроники– 2019– №5 – С. 25-39.
4. Иванов, А.В. Исследование комплексных адаптивных алгоритмов обработки информации для навигационных систем подвижных наземных объектов/ А.В. Иванов, С.П. Москвитин, О.В. Сурков//Вестник ТГТУ. – 2019. – Т. 25, № 3. – С. 395-405.

Кайдаш Е.П.¹, Назмутдинов И.С.¹, Негуляева А.П.²

**НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ
СИСТЕМЫ СВЯЗИ И РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ВОИНСКИХ ФОРМИРОВАНИЙ
И ВОЗМОЖНОСТИ ПО ИХ РЕАЛИЗАЦИИ
В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ
УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ**

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

²*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»*

***Аннотация:** в статье рассмотрены мероприятия, направленные на повышение уровня управляемости системы связи и радиотехнического обеспечения воинского формирования, даны рекомендации по их практическому применению.*

***Ключевые слова:** управляемость системы связи, радиотехническое обеспечение полетов, система управления связью, система связи и РТО.*

Управляемостью является свойство системы связи и радиотехнического обеспечения (РТО), характеризующее способность системы связи и РТО изменять свое состояние в заданных пределах при воздействии органов управления связью и РТО на ее элементы в соответствии с изменениями обстановки [1].

Целью статьи является определение мероприятий, реализация которых в системе управления связью и РТО, в том числе автоматизированной, позволит повысить управляемость системы связи и РТО воинских формирований.

Способность системы связи и РТО изменять свое состояние зависит как от возможностей органов управления связью и РТО по принятию решений на изменение структуры системы связи и РТО, так и от возможностей частей (подразделений) связи и РТО выполнить (реализовать) принятые решения в сложившейся обстановке. Поэтому, необходимо определить основные направления деятельности как органов управления, так и частей (подразделений) связи по повышению уровня управляемости системы связи и РТО.

К мероприятиям, повышающим управляемость и воздействующим в целом на систему управления связью и РТО, относятся:

полный переход на ведение электронного документооборота (в том числе электронных карт) на всех этапах цикла управления;

дальнейшее внедрение принципа модульности построения систем, комплексов и средств связи и РТО;

обеспечение своевременной и качественной обработки (анализа и обобщения) поступающей информации, ее отображения, учета, хранения, обновления и передачи потребителям;

обеспечение всесторонней интеграции систем и средств управления, связи, разведки и поражения, повышение уровня взаимодействия войск (сил) во всех звеньях управления [2].

На уровне органов управления связью и РТО основными мероприятиями, направленными на повышение уровня управляемости системы связи и РТО являются:

оптимизация организационно-штатной структуры органов управления связью и РТО, достижение высокого уровня профессиональной подготовки, развитие лидерских и педагогических качеств, твердости характера и командирской воли у их руководителей;

адекватное и взвешенное делегирование руководителями органов управления связью и РТО части своих полномочий подчиненным должностным лицам для наиболее рационального решения конкретных задач в сжатые сроки, внедрения креативного творческого мышления и оригинальных идей в процесс организации, планирования и выполнения поставленных задач;

совершенствование системы сбора, структурирования и анализа данных обстановки по связи и РТО, обеспечение своевременной обратной связи с подчиненными подразделениями связи и РТО для непрерывного получения в реальном масштабе времени сведений об их состоянии, положении и средствах достижения поставленных задач;

обеспечение оперативного принятия решений, своевременного планирования связи и РТО и доведения задач до подчиненных подразделений связи и РТО;

планирование комплексного применения средств связи для достижения возможности использования на каждом информационном направлении нескольких родов связи;

выполнение комплекса мероприятий, направленных на обеспечение живучести пунктов управления (ПУ) связью и РТО, таких как: рассредоточение элементов ПУ на местности, осуществление инженерного оборудования и маскировки мест расположения ПУ, организации охраны и обороны ПУ, обеспечение своевременной передачи управления на другие ПУ связью и РТО.

На уровне частей (подразделений) связи и РТО, как объектов воздействия, практическая деятельность которых всегда направлена на достижение требуемого органом управления состояния системы связи и РТО, направлениями повышения управляемости являются:

повышение полноты и качества укомплектованности подразделений связи личным составом;

повышение уровня личностных морально-деловых, нравственных и патриотических качеств руководящего состава нижних звеньев управления: от командира отделения (начальника станции) до командира роты (начальника узла связи и РТО);

повышение исполнительной дисциплины, уровня профессионально-должностной и профессиональной подготовки личного состава, нацеливание на своевременное и точное достижение запланированного результата деятельности;

достижение высокого уровня сплоченности коллектива и слаженности расчётов, экипажей, подразделений;

повышение уровня обеспеченности техникой и увеличение доли образцов вооружения, военной и специальной техники нового парка;

совершенствование системы технического обеспечения связи и РТО по направлениям улучшения качества планирования и проведения технического обслуживания, прогнозирования и предупреждения возможного выхода из строя отдельных элементов, узлов, агрегатов средств связи и РТО, сокращения сроков восстановления неисправных образцов техники.

Таким образом, большинство перечисленных мероприятий повышения управляемости системы связи и РТО могут и должны решаться путем применения комплексов средств автоматизации управления связью и РТО, специального программного обеспечения и элементов информационного обеспечения – баз данных организационного управления, реализованных на основе современных средств прикладной среды систем поддержки принятия решений. Реализация перечисленных подходов возможна и в перспективной автоматизированной системе управления связью и РТО [3] за счет обеспечения высокой оперативности и непрерывности сбора, обработки и выдачи (отображения) данных о состоянии системы связи и РТО, прохождения в системе связи оперативной информации и сигналов оперативного управления, проведения расчетов и моделирования предстоящего развертывания системы связи и РТО, а также обеспечения экипажей воздушных судов и должностных лиц группы руководства полетами необходимой информацией в реальном масштабе времени.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №19-08-00312

Список используемых источников

1. Словарь войск связи Вооруженных Сил Российской Федерации / Под общей ред. начальника Связи Вооруженных Сил Российской Федерации – заместителя начальника Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации генерал-полковника Е.А. Карпова. – М.: Воениздат, 2008. – 216 с
2. Костарев, С.В. Современные подходы к обеспечению разведывательной защищенности и живучести системы связи объединения в операциях (боевых действиях) / С.В. Костарев, И.Г. Воробьев // Военная мысль. – 2019. – № 11. – С. 58 – 68.
3. Арсланов, Х.Б. Автоматизированная система управления связью Вооруженных Сил Российской Федерации и приоритетные направления ее развития / Х.Б. Арсланов, А.С. Башкирцев, А.М. Лихачев // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации. – 2016. – С. 17 – 20.

Кайдаш Е.П.¹, Назмутдинов И.С.¹, Негуляева А.П.²

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ОПЕРАТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАМИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВОИНСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ

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

²*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»*

***Аннотация:** в статье рассмотрена оценка оперативности управления информационно-телекоммуникационной системой воинского формирования на основе теории систем массового обслуживания.*

***Ключевые слова:** технологический уровень управления, информационно-телекоммуникационная система, оценка оперативности технологического управления, среднее время выработки решения*

Динамика совершенствования средств вооруженной борьбы стран Североатлантического альянса, форм и способов их боевого применения неизбежно приводит к необходимости постоянного развития системы управления войсками (силами), направленного на сокращение времени принятия решения и доведения его до исполнителей. Одно из ключевых направлений этого процесса занимает совершенствование и развитие информационно-телекоммуникационной системы (ИТС) воинского формирования, как технической основы управления войсками. В свою очередь, степень выполнения ИТС поставленных перед нею требований по своевременности, достоверности и безопасности обмена информационными потоками зависит от оперативности технологического управления ее элементами [1]. Целью работы является определение показателей сравнительной оценки оперативности технологического управления ИТС и поиск математического аппарата для их расчета.

Современные ИТС, построенные на высокотехнологичном цифровом оборудовании с выделенными служебными каналами технологического управления, позволяют осуществлять мониторинг, администрирование и управление элементами ИТС централизованно одним органом управления, функции которого в воинском формировании выполняет дежурный по связи (ДС). При наличии в составе оборудования, обеспечивающего работу ИТС, техники связи старого парка (аппаратура аналогового каналообразования, приемо-передающие устройства и др.), для ее

эксплуатационного обслуживания назначается дежурный расчёт (механики, радиотелеграфисты и пр.), который по принципу единоначалия подчиняется ДС и не уполномочен принимать самостоятельных решений.

Началу управленческого процесса всегда предшествует провоцирующее его событие (ситуация). Предусмотреть время и количество таких событий в реальной ИТС воинского формирования невозможно. Ведь даже с учетом прогнозирования развития обстановки, неизвестно, когда наступит момент времени, в котором будет достаточно ясный прогноз (удовлетворяющий требованиям по точности прогнозируемой информации на основе необходимого количества и достоверности исходных данных) для начала управленческого процесса по нему. При этом возникновение последующих событий при непринятом решении по предыдущему обязывает орган управления рассматривать их все поочередно.

Известно, что в реальной системе управления ИТС воинского формирования помимо событий, требующих очередного принятия по ним решения, иногда встречаются события (аварии), требующие немедленного принятия решения. При этом процесс обработки ранее возникшего события прекращается до решения вновь поступившего приоритетного события. Как правило, время на принятие решения по обстоятельствам с приоритетом крайне ограничено. Ввиду этого, вероятность наступления еще одного приоритетного события до принятия решения по предыдущему приоритетному событию ничтожно мала и ею можно пренебречь.

Поэтому в качестве модели органа, осуществляющего технологическое управление элементами ИТС воинского формирования, рассмотрим одноканальную модель системы массового обслуживания (СМО) с абсолютным приоритетом одного порядка без ограничения на длину очереди заявок.

Частота возникновения провоцирующих событий является случайной и появление этих событий в большей степени является независимым друг от друга. В применяемой модели СМО частоту возникновения этих событий (потоков заявок на обслуживание), как обычных, так и требующих приоритетного рассмотрения, можно аппроксимировать к простейшему Пуассоновскому закону распределения: [2]. Время принятия ДС необходимых мер воздействия по возникшему событию τ будем считать распределенным по произвольному закону $B(\tau)$ со средним значением b и коэффициентом вариации ν_b . Тогда, среднее время ожидания реакции ДС на требующее решения событие w будет определяться по формуле Поллачека-Хинчина [3], а для вычисления среднего времени существования события, требующего решения ДС u , к найденному значению w необ-

ходимо прибавить среднее время выработки ДС управляющего воздействия на соответствующий элемент ИТС b :

$$u = w + b = \frac{\lambda b^2(1 + v_b^2)}{2(1 - \rho)} + b, \quad (1)$$

где $\rho = \lambda b < 1$ - загрузка системы;

λ – интенсивность возникновения событий, требующих реакции на них ДС, в единицу времени;

v_b – коэффициент разброса среднего времени выработки ДС управляющего воздействия.

Однако, в описанной модели, данная формула справедлива только для потока событий (аварий) с абсолютным приоритетом реакции на них дежурного по связи. Для второго потока событий (ситуаций), не имеющих приоритета (с условием возвращения после обработки приоритетного события к ситуации без приоритета, находящейся в том же состоянии, в котором она находилась в момент времени, когда была прервана поступлением события с приоритетом), воспользуемся соответствующей формулой расчёта среднего времени реакции дежурного по связи на требующее решения событие без приоритета u_2 , как для СМО, имеющих дисциплину обслуживания с абсолютным приоритетом при двух классах заявок, один из которых является приоритетным [4, с.135]:

$$u_2 = \frac{\lambda_1 b_1(1 + v_{b1}^2) + \lambda_2 b_2(1 + v_{b2}^2)}{2(1 - (\lambda_1 b_1 + \lambda_2 b_2))} + \frac{(\lambda_1 b_1 + \lambda_2 b_2)b_2}{1 - (\lambda_1 b_1 + \lambda_2 b_2)} + b_2, \quad (2)$$

где λ_1, λ_2 – интенсивности событий, требующих решения ДС (1 – с абсолютным приоритетом, 2 – без приоритета) в единицу времени;

b_1, b_2 – среднее время выработки ДС управляющего воздействия, как реакции на событие соответственно с приоритетом и без приоритета;

v_{b1}, v_{b2} – коэффициенты разброса среднего времени выработки ДС управляющего воздействия на событие с приоритетом и без приоритета.

Значениями, полученными по формулам (1), (2), можно оперировать при сравнительной оценке оперативности технологического управления элементами ИТС как в сравнении с другими воинскими формированиями, так и при прогнозировании динамики изменения оперативности функционирования системы технологического управления элементами ИТС в следствие ее изменения, например, при внедрении функционально нового оборудования. Кроме того, возможна обратная задача: при установленных требуемых показателях оперативности технологического управления, возможен расчёт и внедрение допустимых ограничений (требуемых характеристик) функционирования управляющих элементов ИТС.

Работа частично выполнена при финансовой поддержки Российского фонда фундаментальных исследований, проект №19-08-00312

Список используемых источников

1. Арсланов Х.Б., Башкирцев А.С., Лихачев А.М. Автоматизированная система управления связью Вооруженных Сил Российской Федерации и приоритетные направления ее развития// Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации. 2016. С. 17-20.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. М.: Радио и связь, 1982. С. 416.
3. Алиев Т.И. Математические методы теории вычислительных систем. Л.: ЛИТМО, 1979. С. 92.
4. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. Учебное пособие. СПб: ИТМО, 2009. С. 353.

Каменская М.А., Чернышова Т.И.

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ОЦЕНКИ И ПОВЫШЕНИЯ
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ
С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Тамбовский государственный технический университет

***Аннотация:** Разработана информационно-аналитическая система (ИАС) оценки и повышения метрологической надежности (МН) измерительных средств (ИС) на этапе проектирования. ИАС учитывает при оценке МН условия эксплуатации ИС, а также позволяет решить задачу повышения метрологического ресурса как основного показателя МН.*

***Ключевые слова:** Информационно-аналитическая система, метрологическая надежность.*

При проектировании измерительных средств (ИС) важным является вопрос обеспечения их высокой метрологической надежности (МН), определяемой темпом изменения метрологических характеристик ИС в течении всего времени эксплуатации. Анализ надежности средств измерительной техники, показывает, что для них характерно преобладание скрытых или метрологических отказов. Последние составляют до 70%-80% от всех отказов и определяются, как правило, постепенными изменениями параметров аналоговых (АБ) и аналогово-цифровых блоков. Поэтому для ИС показателем, определяющим их качество, является метрологическая надежность.

На этапе эксплуатации ИС подвергается влиянию внешних дестабилизирующих воздействий окружающей среды, таких, как температура T , влажность F , давление P , радиационное воздействие E , при отклонении которых от нормальных условий ускоряются деградиационные процессы, возникающие в элементной базе АБ и вызывающие изменения номиналов элементов, что в свою очередь, приводит к изменению метрологических свойств измерительных средств и сокращению их метрологического ресурса.

Создана информационно-аналитическая система (ИАС), в которой реализованы методы оценки и повышения метрологической надежности различных ИС с учетом различных условий эксплуатации.

Представленная ИАС проводит построение математической модели функционирования исследуемого блока с учетом внешних дестабилизирующих факторов.

Далее формируется математическая модель метрологической характеристики (МХ) АБ:

$$S = f(x, \bar{\xi}, T, F, P, E, t) \quad (1)$$

где S – МХ АБ, x – входной параметр; $\bar{\xi}$ – вектор параметров комплектующих элементов, t – время эксплуатации.

Информационно-аналитическая система использует математическую модель вида (1) для проведения процедуры статистического моделирования, заключающейся в последовательном расчете характеристик закона распределения значений параметров АБ и моделировании МХ ИС в различных временных сечениях.

Точность и достоверность результатов прогноза определяются адекватностью принятой математической модели МХ. Как правило, наиболее приемлемыми являются нелинейные математические модели процессов изменения во времени МХ: экспоненциальные, логарифмические, полиномиальные, рациональные, авторегрессионные.

Исследования показали, что из представленных моделей старения, использующихся при прогнозировании состояния МХ, полиномиальные зависимости имеют меньшую погрешность аппроксимации по сравнению с экспоненциальными и логарифмическими зависимостями.

Однако основным недостатком полиномиальной интерполяции является то, что она неустойчива на сетке с равноудаленными точками контроля.

Альтернативу полиномиальным зависимостям составляет интерполяция рациональными функциями. Достоинствами рациональной интерполяции является высокая точность и неподверженность свойственным полиномиальной интерполяции проблемам. Рациональная интерполяция не требовательна к выбору точек контроля. Рациональная интерполяция позволяет производить прогнозирование на большие интервалы времени предстоящей эксплуатации.

С помощью последовательности авторегрессии возможно с достаточной для практики точностью выполнять прогнозирование МХ на область будущих значений времени эксплуатации, опираясь только на исходные данные о поведении МХ на области контроля, прогнозирование авторегрессионной моделью дает наилучшие результаты при прогнозировании МН ИС на величину МПИ.

Результаты проведенного моделирования сохраняются в файлы с названием, соответствующим рассмотренным математическим моделям изменения во времени МХ исследуемого ИС.

Полученные сведения о МН могут быть использованы при организации метрологического обеспечения ИС. Рассматриваемая ИАС позволяет обоснованно выбирать величину МПИ. Расчет величины МПИ базируется на предположении о том, что в проектируемом ИС величина степени накопления метрологических дефектов сохраняется постоянной между проведением проверок, что определяется по построенной априори математической модели изменения во времени МХ. С учетом темпа изменения МХ во времени ИАС производит корректировку величины МПИ при приближении к прогнозируемому значению метрологического отказа.

ИАС позволяет рассчитать необходимое число измерений при проведении проверок ИС. Вывод о числе измерений МХ на момент следующей проверки выполняется с использованием графо-аналитического метода, при этом дополнительно производится ввод в базу данных значения разрешающей способности используемого при проверках измерительного прибора. Результаты проведенных расчетов после этого выводятся в окно отображения практических рекомендаций по эксплуатации.

В ИАС для определения показателя эффективности прогнозирования заложены необходимые расчетные соотношения, позволяющие получать величину критерия эффективности с учетом принятого вида математической модели изменения во времени метрологической характеристики. Также в ИАС заложены расчетные алгоритмы, позволяющие определить критерий достоверности проведенного прогнозирования метрологической надежности, который также оценивается с учетом проведенной ранее процедуры математического моделирования метрологической характеристики.

В ИАС реализован алгоритм повышения МН, состоящий в определении отличных от нормальных условий эксплуатации значений внешних факторов, обеспечивающих максимальный уровень метрологического ресурса как основного показателя метрологической надежности АБ ИС.

Таким образом, разработанная ИАС позволяет решить комплекс задач, возникающих при оценке метрологической надежности проектируемого ИС, включая построение адекватного математического описания исследуемой метрологической характеристики, расчет требуемых показателей метрологической надежности, определение рекомендаций по метрологическому обслуживанию ИС, оценку качества проведенного прогнозирования метрологической надежности проектируемого ИС.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержки Российского фонда фундаментальных исследований, проект №14-08-00198 А

Список используемых источников

1. Чернышова, Т.И. Методы и информационно- измерительные системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий. Научное издание: монография/ Чернышова Т.И., Чернышов В.Н.-СПб: «Экспертные решения», 2016.-384 с.
2. ArtemovaS.V., Artemov A.A., Melisarov V.M., Podkhvatilin P.A. Measurement Techniques. 2016.T59. №4. С. 365-368. Scopus.

Маслина В.В., Данилов С.Н.

СИСТЕМА УГЛОВОЙ КОРРЕКЦИИ АНТЕННЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Аннотация. Проведен анализ существующих методов синтеза оптимальных структур следящих устройств и синтез следящей системы в пространстве состояний на основе переменного состава первичных датчиков, в том числе и датчиков собственного движения антенны. Получены характеристики точности алгоритмов.

Ключевые слова: спутник, антенна, коррекция, угловые координаты, погрешности.

Спутниковая связь (СС) — один из видов радиосвязи, основанный на использовании искусственных спутников Земли в качестве ретрансляторов. В процессе распространения сигнал искажается за счет действия помех, поэтому повышение отношения сигнал/шум, особенно при очень больших длинах космических трасс (тысячи км) — одна из самых актуальных проблем.

Большинство земных станций (ЗС) работает в диапазонах 4/11 ГГц на приём и 6/14 ГГц на передачу. Требования к диапазону определяются условиями распространения радиоволн и использования антенны.

В спутниковой связи влияние атмосферы проявляется в виде поглощения радиоволн, искривления траектории радиолуча, изменения плоскости поляризации и появления помех. Таким образом, спутник первоначально находящийся в максимуме диаграммы направленности антенны, постоянно выходит из него по случайной траектории.

Для ЗС принято, что отклонение луча от направления на ИСЗ не должно превышать десятой доли ширины диаграммы направленности (ДН) по уровню 3 дБ (1,6 и 0,7 угловых минут в зависимости от диапазона). Очевидно, что для наведения луча в этом случае необходимо осуществить пеленгацию ИСЗ с высокой точностью. Пеленгация на основе ДН самой наводимой антенны сопровождается ошибками, вносимыми изменением гравитационных сил при поворотах антенны по углу места, ветровых нагрузок, неоднородного солнечного нагрева [1] и т. п.

Сегмент управления содержит параболическую антенну, отслеживающую траекторию спутника. Угловые перемещения искусственного спутника земли (ИСЗ) на геостационарной орбите относительно земной

станции малы. Это облегчает наведение луча антенны земной станции на ИСЗ и позволяет упростить опорно-поворотное устройство (ОПУ) антенны. Однако для высокоширотных областей земного шара используют ИСЗ на эллиптической орбите. В специальных системах применяют низкие круговые и эллиптические орбиты, при которых угловые скорости линии визирования ИСЗ выше. Угловые скорости и ускорения при поворотах антенны зависят от высоты орбиты и от схемы ОПУ [2]. Необходимо обеспечить сигнал высокого качества в условиях резкого изменения параметров перемещения линии визирования. Поэтому необходима разработка соответствующих алгоритмов, которые позволят обеспечить высокие характеристики точности, а следовательно достаточно высокое отношение сигнал/шум на входе приемника.

Известно, что при проведении синтеза следящей системы необходимо иметь набор датчиков. В качестве таких датчиков исследовался датчик угла и датчик угловой скорости перемещения линии визирования.

Для модели состояния была принята система разностных уравнений:

$x(k) = \Phi(k/k-1) \cdot x(k-1) + \xi(k-1)$, где $x(k)$ – двухмерный вектор фазовых координат; $\Phi(k/k-1)$ – переходная матрица состояния; $\xi(k)$ – последовательность случайных величин с гауссовской плотностью распределения вероятности и дисперсией σ_v^2 .

Модель наблюдения имеет вид: $z(k) = H(k-1) \cdot x(k-1) + \eta(k-1)$; $(k = 0, 1, \dots)$.

$$z(k) = \begin{bmatrix} \varphi_u(k) \\ \omega_u(k) \end{bmatrix}; \quad x(k) = \begin{bmatrix} \Phi(k) \\ \omega(k) \end{bmatrix}; \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & p \end{bmatrix}, \text{ где } z(k) \text{ – } n\text{-мерный вектор}$$

наблюдений; $\varphi(k)$ – оцениваемый угол, $\omega(k)$ – угловая скорость изменения угла; $H(k)$ – матрица весовых коэффициентов; $\eta(k)$ – последовательность случайных величин с гауссовской плотностью распределения вероятности.

В соответствии с методом синтеза систем в пространстве состояний, получен алгоритм функционирования системы.

Оценки параметров на выходе фильтра равны:

$$\hat{\varphi}(k) = \hat{\varphi}(k-1) + \hat{\omega}(k-1) \cdot T + K(k-1) \cdot v(k);$$

$$\hat{\omega}(k) = (1 - \alpha \cdot T) \cdot \hat{\omega}(k-1) + K(k-1) \cdot v(k).$$

Здесь α – постоянная времени, характеризующая перемещение линии визирования спутника с угломера, $v(k)$ – невязка измерения.

Далее были получены оценки координаты спутника, во-первых, для случая подачи на вход сигнала только с угломера и во-вторых, данных с угломера и датчика угловой скорости (ДУС). Цель тако-

го вычислительного эксперимента – с одной стороны, оценить целесообразность включения в систему ДУС. С другой стороны, получить оценку целесообразности установки такого угломера на дорогостоящую гироскопическую платформу.

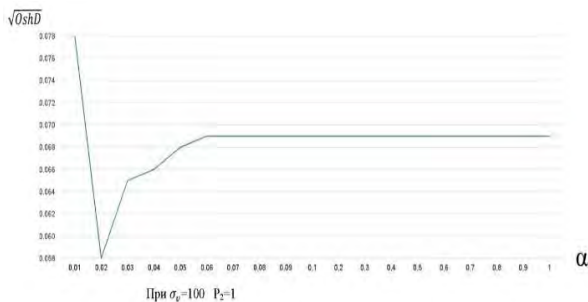


Рис.1

ошибки минимальна.

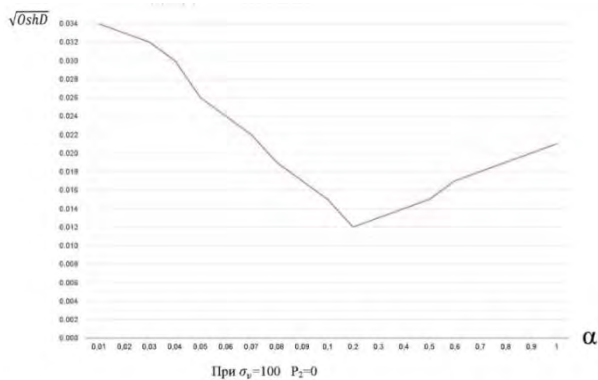


Рис.2

онной ошибки (рис. 2).

Исследование зависимости величины ошибки от величины σ_v , при величине $\alpha = 0,5$ и включенным ДУС показало, что минимальной ошибки можно достичь только при уменьшении значения σ_v .

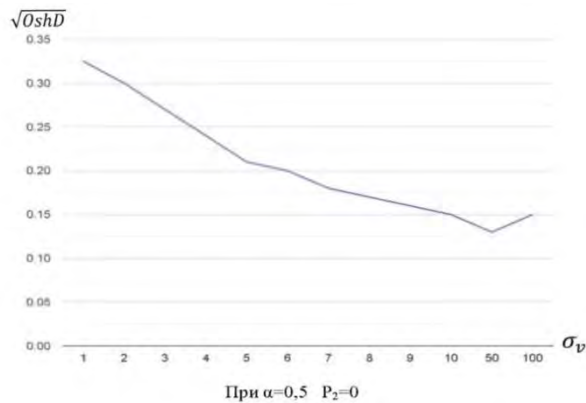


Рис.3

способно снизить величину погрешности примерно в два раза.

Чтобы установить важность применения датчика скорости в устройстве коррекции антенны были проведены следующие исследования. Получена зависимость угловой ошибки от параметров α и σ_v с включенным ($p=1$) и выключенным ($p=0$) фильтром скорости (рис. 1). При наличии ДУС и $\alpha=0,02$ величина

В тех же условия, но при отсутствии ДУС требуется увеличить α в 10 раз, по сравнению с предыдущим значением. Выключенный фильтр скорости требует более высокого значения α , при неизменном σ_v , что приводит к расширению полосы следящей системы и, следовательно, к увеличению величины флюктуаци-

Исследование зависимости ошибки от σ_v , при величине $\alpha=0,5$ и выключенным ДУС показали, что минимальная ошибка возможна при значении $\sigma_v = 50^0/с$. В этом случае равновесие между величинами флюктуационной и динамической погрешности (рис.3).

Вывод: Наличие ДУС спо-

Исследование частично выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-08-00523

Список использованной литературы:

1. Пудовкин А.П., Панасюк Ю.Н., Данилов С.Н., Москвитин С.П. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation //Journal of Physics: Conference Series. Volume 1015, Issue 3, article id. 032112, pp. 1-6.
2. Пудовкин А.П., Данилов С.Н., Панасюк Ю.Н. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах: монография – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. Князев И.В., Данилов С.Н., Пудовкин А.П., Панасюк Ю.Н. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов. Радиотехника. - Москва, 2013, № 9, с. 60-63.
4. Данилов С.Н., Кольтюков Н.А., Чернышова Т.И., Петров С.В. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний// Вестник ТГТУ, №3, 2016, с. 374-380.
5. Иванов, А.В. Комплексная система межсамолетной навигации на основе спутниковых радионавигационных систем / А.В. Иванов // Успехи современной радиоэлектроники. – 2008. – № 11.

Мжельский А.А., Евтеев В.В., Панасюк Ю.Н., Пудовкин А.П.

РАЗРАБОТКА ДИСКРЕТНОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРИ ТРАЕКТОРНОЙ ОБРАБОТКЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

***Аннотация:** предложена многомерная дискретная следящая система сопровождения. Обоснован выбор и принцип работы структурной схемы.*

***Ключевые слова:** следящая система сопровождения, кинематические параметры ВС.*

Для повышения точностных характеристик системы сопровождения необходимо получать как можно больше информации о пространственном положении ВС. Но это, в свою очередь, вызывает противоречие: из-за большого количества разноплановой информации, а также присутствия во входных сигналах случайной составляющей, накапливаются ошибки обработки и фильтрации. Кроме того, повышение многомерности всей системы приводит к значительному усложнению аппаратной реализации устройства [1, 2].

В разрабатываемой следящей системе осуществляется обработка следующих кинематических параметров ВС: дальности D , скорости V , ускорения a , угла наклона θ , путевого угла φ , а также угла линии визирования ε в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Для повышения точности обработки входящей информации предполагается использование отдельных фильтров для каждого измеряемого кинематического параметра. Кроме того, наличие разных источников поступления информации о пространственном положении цели позволяет значительно повысить помехозащищенность РЛС.

На основании алгоритмов [1] была разработана структурная схема следящей системы, представленная на рис. 1.

Базовый фильтр включает в себя устройство вычитания (УВ1), усилители невязки оценки дальности ΔD (K_{d11} , K_{d21} , K_{d31}), экстраполяторов дальности, скорости и ускорения (ЭД, ЭС и ЭУ соответственно), устройств задержки (УЗ1-УЗ3) и сумматоров (СУМ1 – СУМ3).

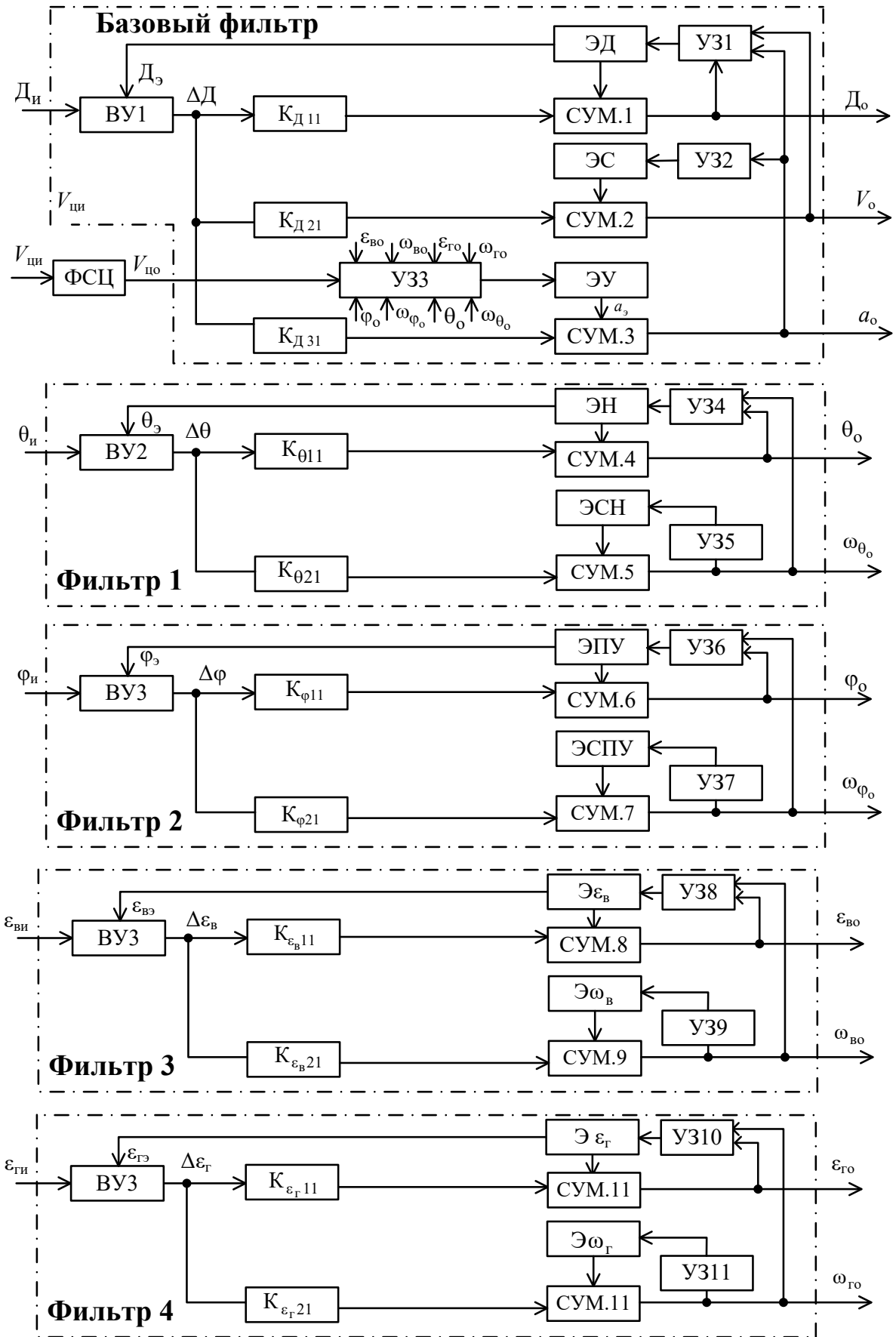


Рисунок 1 – Структурная схема следящей системы

Фильтры 1 – 4 состоят из функционально схожих элементов: устройства вычитания (УВ), усилителей невязки своего оцениваемого параметра, экстраполятора, устройств задержки (УЗ4) и сумматоров (СУМ). Различие заключается только в том, что каждый фильтр корректирует свой специально отведенный входной параметр.

В рассматриваемой структурной схеме устройство по отслеживанию фазовых координат представляет собой многомерную нестационарную многоконтурную систему. Многомерность обусловлена наличием входных (измеренных) сигналов ($D_{и}, V_{ци}, \theta_{и}, \varphi_{и}, \varepsilon_{ви}, \varepsilon_{ги}$) и выходных (оцененных и скорректированных) сигналов ($D_{о}, V_{о}, V_{цо}, a_{о}, \theta_{о}, \omega_{\theta о}, \varphi_{о}, \omega_{\varphi о}, \varepsilon_{во}, \omega_{во}, \varepsilon_{го}, \omega_{го}$). Входные сигналы $D_{и}, \varepsilon_{ви}, \varepsilon_{ги}$ измеряются РЛС, а сигналы $V_{ци}, \theta_{и}, \varphi_{и}$ поступают от бортовых датчиков. Выходные сигналы $D_{о}, V_{о}, a_{о}$ используются для вычисления экстраполированных сигналов $D_{э}, V_{э}$ в базовом фильтре, а выходные сигналы $V_{цо}, \theta_{о}, \omega_{\theta о}, \varphi_{о}, \omega_{\varphi о}, \varepsilon_{во}, \omega_{во}, \varepsilon_{го}, \omega_{го}$ – для вычисления экстраполированных сигналов $a_{э}$. На экстраполяторы выходные сигналы подаются через устройства задержки, которые задерживают сигналы на время, равное одному шагу вычисления τ . Выходные сигналы $D_{о}, V_{о}, a_{о}$ поступают к потребителям информации для реализации алгоритмов АС УВД.

В качестве оптимального критерия оценивания эффективности разработанной системы принимается минимум СКО оценки фильтрации дальности, скорости и ускорения по сравнению с известной зингеровской моделью [3].

На рисунках 2 – 4 приведены графики изменения во времени СКО оценки фильтрации дальности D , скорости V и ускорения a по линии визирования между РЛС и целью, совершающей маневр «Большая коробочка». Как видно из рисунков, СКО оценки фильтрации значительно меньше при использовании информации кинематических параметров (КП), чем при использовании зингеровской модели (МЗ).

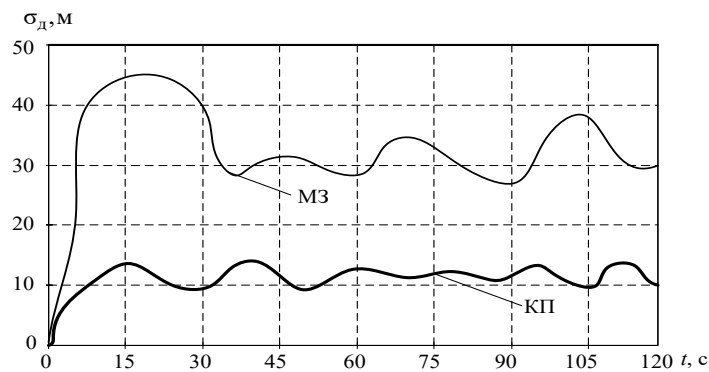


Рисунок 2 – СКО оценки фильтрации дальности

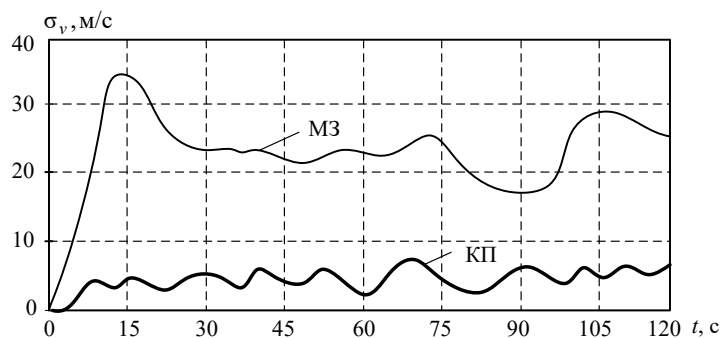


Рисунок 3 – СКО оценки фильтрации скорости

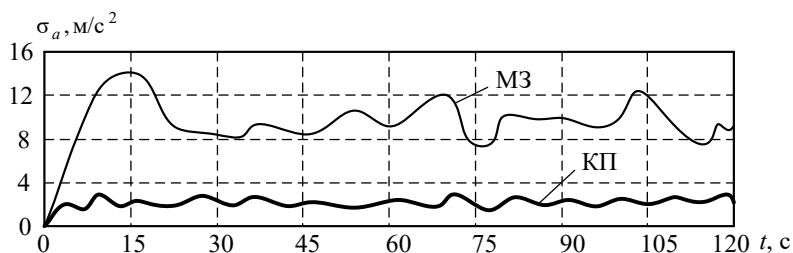


Рисунок 4 – СКО оценки фильтрации ускорения

Таким образом, разработанная следящая система сопровождения при траекторной обработке воздушных судов с учетом информации кинематических параметров имеет лучшие точностные характеристики по сравнению с зингеровской моделью.

Исследование частично выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №14-08-00523

Список используемых источников

1. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 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.

Михина А.В.

РАЗРАБОТКА UML МОДЕЛИ АППАРАТА ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Аннотация: Для повышения качества оказания медицинской помощи, необходим правильный выбор медицинского оборудования. В данной статье рассматривается разработка UML модели медицинского оборудования на примере аппарата искусственной вентиляции легких.

Ключевые слова: аппарат ИВЛ медицинское оборудование, диагностика, UML, оснащение ЛПУ.

Искусственная вентиляция легких (ИВЛ) является одним из наиболее важных и эффективных методов лечения в современной анестезиологии, реаниматологии и интенсивной терапии. Аппарат ИВЛ – это сложное устройство, которое предназначено для перемещения газовой смеси между внешней средой и пациентом. Для эффективного материально-технического оснащения необходимо выбрать аппарат ИВЛ отвечающим всем требованиям лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ). Поэтому так важно правильно и грамотно составлять техническое задание [1].

Для того что бы правильно составить техническое задание построим информационную модель аппарата ИВЛ на основе объектно-ориентированного программирования (ООП).

Объектно-ориентированное программирование - методология программирования, основанная на представлении программы в виде совокупности объектов, каждый из которых является реализацией определенного типа, использующая механизм пересылки сообщений и классы, организованные в иерархию наследования.

Информационная модель- совокупность данных и связей между ними, описывающая различные свойства изделия. Она позволяет наглядно проанализировать систему классов, составляющую изделие медицинской техники (ИМТ).

Разрабатывать информационную модель аппарата ИВЛ будем в среде разработки StarUML. StarUML - это программный инструмент, который поддерживает унифицированный графический язык моделирования Unified Modeling Language (UML). Преимуществами платформы StarUML являются: простота в использовании, высокая степень расширя-

емости, платформа является бесплатной, поддерживает множество дополнительных функций [2].

UML является языком широкого профиля, это — открытый стандарт, использующий графические обозначения для создания абстрактной модели системы, называемой UML-моделью. UML можно использовать для визуализации, спецификации, конструирования и документирования программных систем.

Информационная модель была разработана на основании анализов 20 технических заданий на закупку аппаратов ИВЛ, которая представлена на рисунке 1.

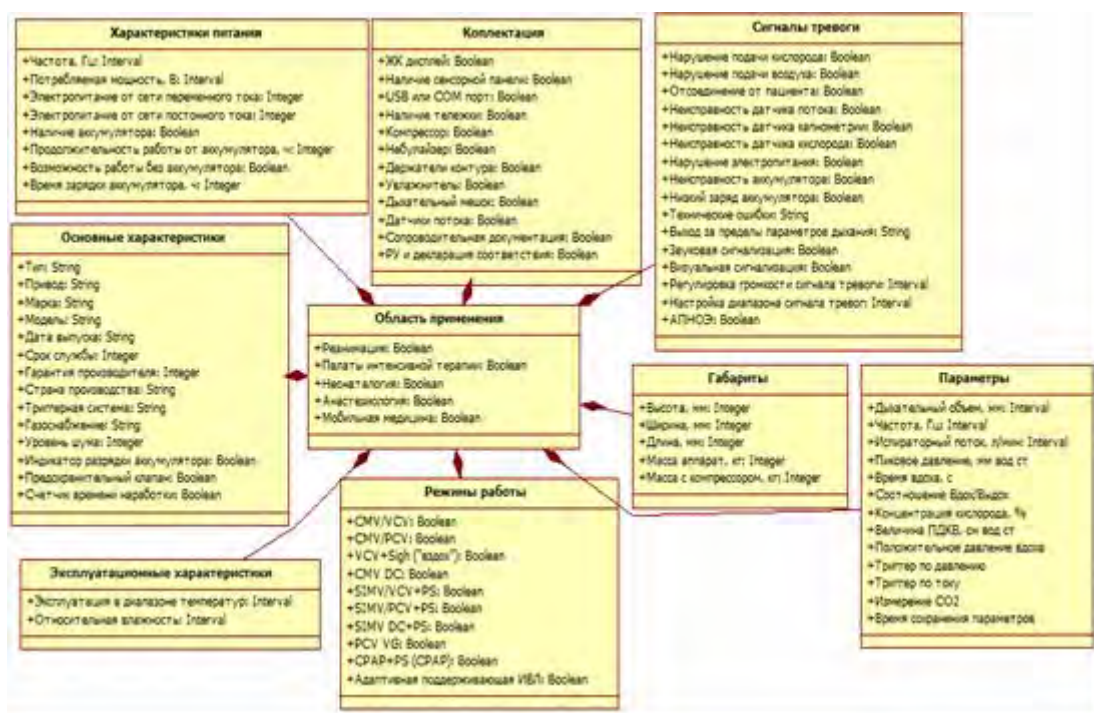


Рисунок 1 - Информационная модель аппаратов ИВЛ на языке UML

В отношении композиции с классом «Область применения» состоят классы «Основные характеристики», «Характеристики питания», «Эксплуатационные характеристики», «Габариты», «Сигналы тревоги», «Комплектация», «Режимы работы» и «Параметры». Именно данные классы лежат в основе ИМТ аппарат для искусственной вентиляции легких. На основании UML модели составляется техническое задание по потребностям заказчика.

Класс «Область применения» имеет атрибуты Boolean, класс «Основные характеристики» имеет атрибуты типа String и Integer, а так же атрибуты типа Boolean. Класс «Режимы работы» имеет атрибуты типа Boolean. Класс «Эксплуатационные характеристики» с атрибутами Interval. Класс «Габариты» с атрибутами Interval. Класс «Сигналы трево-

ги» имеет ряд атрибутов типа Boolean и Interval. Класс «Комплектация» имеет атрибуты типа Boolean.

Класс «Характеристики питания» имеют атрибуты Interval и Integer. Класс «Параметры» имеют атрибуты Interval, Integer и Boolean.

Эффективное оснащения ЛПУ определяет организацию лечебно-диагностического процесса, объёмы, качество и своевременность оказания медицинской помощи. Поэтому необходимо корректно составлять техническое задание. Для этого была разработана информационная модель аппарата ИВЛ. Она описывает параметры объекта, связи между ними, которые требуются заказчику для конкретной рассматриваемой задачи.

Список используемых источников

1. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем /С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареа // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.
2. 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.

Михина А.В., Строев В.М.

СПОСОБ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ КОЖИ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Аннотация: В данной статье рассматривается способ обработки изображений для выявления заболеваний кожи. Способ может применяться в видео системе для скрининга недоброкачественных образований на теле человека.

Ключевые слова: изображения, обработка, заболевания кожи, скрининг, цветовые пространства.

В статье [1] описан метод скрининга новообразований кожи, отличающийся использованием совместной обработки тепловизионного и видео изображения. Тепловизионное изображение подвергается интерполяции, после этого на нем выделяются области с положительным тепловым контрастом, затем производится дублирование каждой точки преобразованного тепловизионного изображения на изображение в видимой части света.

Для контрастирования области поражения пациенту перорально дают препарат «Аласенс». Через 3 часа после приёма препарата «Аласенс» делается люминесцентная фотография камерой [2].

Для моделирования способа обработки изображений были использованы фотографии, представленные в открытом доступе ФГБУ "НИИГБ" РАМН.

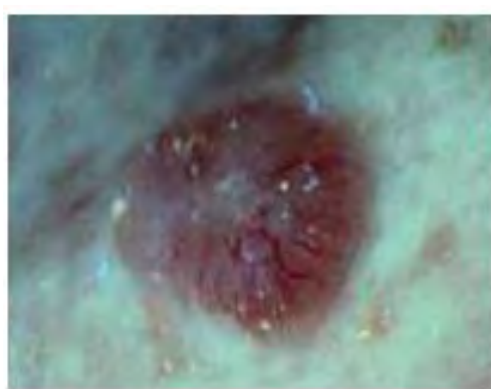


Рисунок 1- Изображение в цветовом пространстве RGB

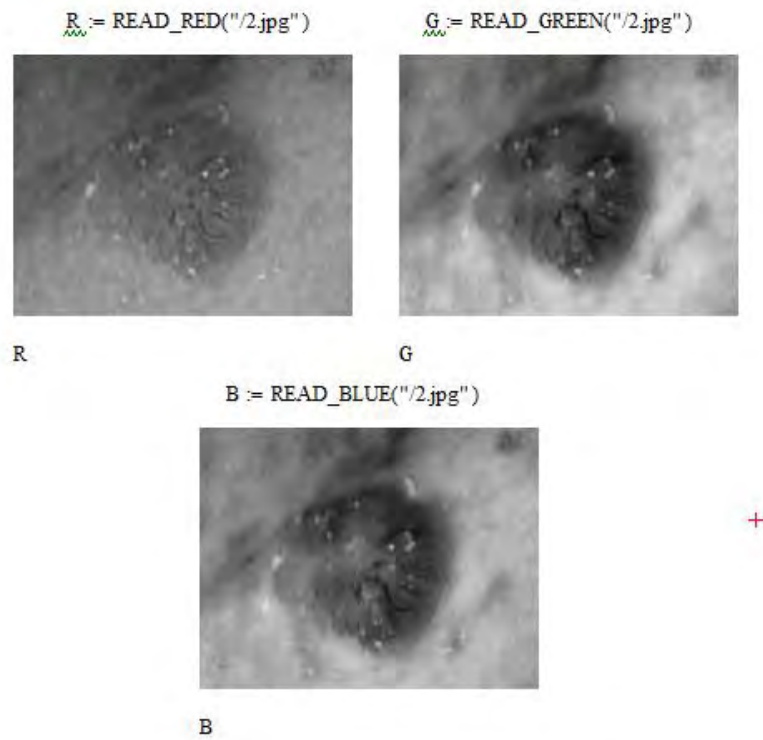


Рисунок 2- Разложение изображения на составляющие RGB в среде Matcad

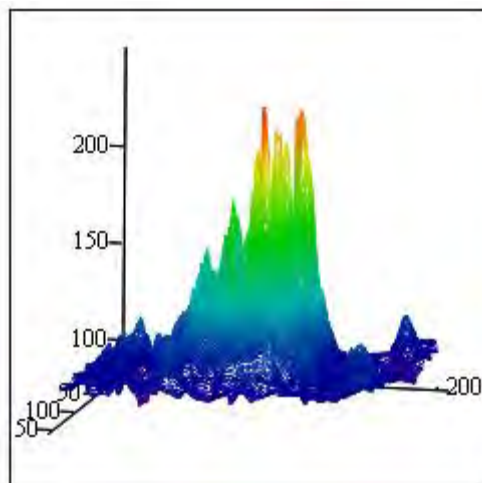


Рисунок 3- Изображение в цветовом пространстве RGB

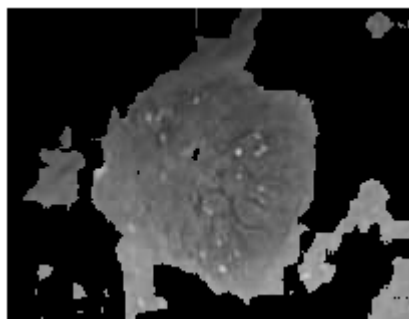


Рисунок 4- Результат обработки в цветовом пространстве RGB

При выделении области поражения в цветовой схеме RGB трудно подобрать порог, при котором производится правильное принятие решения. Он лежит в пределах от 120 до 130 единиц яркости при диапазоне яркости от 0 до 255.

Данный метод имеет недостаток, потому что используется адаптивный порог, вычисляемый на основе значения средней яркости изображения. Он характеризуется выбором узкого порога выделения, что повышает количество ложных решений.

Предлагаемый способ включает разложение цветного RGB изображения на цветные RGB составляющие, формирование изображения в HSI, пороговое выделение цвета, лежащего в области красного, бинаризацию полученного результата и перемножение с исходным изображением в оттенках серого.

Производим формирование изображения в HSI пространстве по формуле:

$$\theta = \arccos\left(\frac{0.5 * ((R - G) + (R - B))}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B) * (G - B)}}\right)$$

HSI- это цветное пространство в котором координатами являются тон, насыщенность, интенсивность.

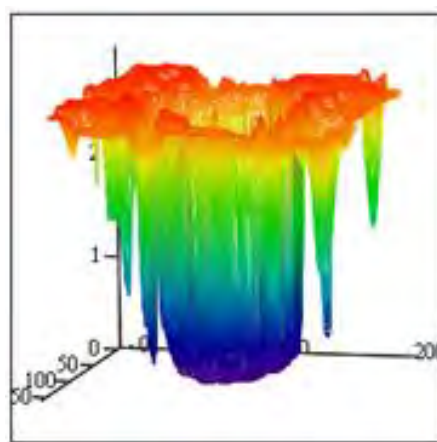


Рисунок 5- Изображение в цветовом пространстве HSI

После чего производим пороговую обработку и выделение области изображения соответствующей наличию патологий.

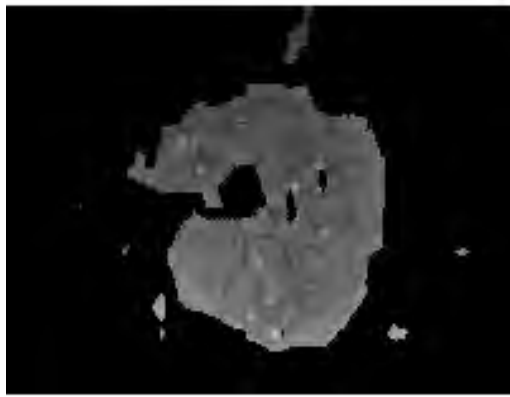


Рисунок 6- Результат обработки в цветовом пространстве HSI

В системе HSI порог лежит в пределах от 0,8 до 1,5 единиц яркости при диапазоне от 0 до 2,5. Таким образом, относительное значение диапазона порога для RGB составит $10/255$ (0,04), а для HSI $0,7/2,5$ (0,28).

Следовательно, выделение области поражения в системе HSI будет производиться с большей точностью из-за исключения случаев неправильного выбора порога при работе в цветовой системе RGB.

Список используемых источников

1. Михина А.В., Строев В.М. Видео-тепловизионная система скрининга кожного покрова человека // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы III Всерос. нац. науч. конф, студентов, аспирантов и молодых ученых, - Комсомольск-на-Амуре: Изд-во ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2020.- С. 322-324.
2. Новиков И.А., Груша Я.О., Кирющенко Н.П. Повышение эффективности флюоресцентной диагностики новообразований кожи и слизистых оболочек в офтальмологии// Вестник РАМН. – 2012. №10. С. 62-69.

Москвитин С.П., Сурков В.О.

ЦЕЛОСТНОСТЬ РАДИОСИГНАЛОВ СРНС В НАВИГАЦИОННОМ КОМПЛЕКСЕ ПОДВИЖНОГО НАЗЕМНОГО ОБЪЕКТА

Тамбовский государственный технический университет

Введение. Для навигационных комплексов(НК) подвижных наземных объектов (ПНО), включающих в свой состав инерциальную навигационную систему (ИНС), аппаратуру приема (АП) радиосигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС) и барометрический высотомер работах [1–4] рассмотрены вопросы синтеза алгоритмов обработки информации. Для синтеза использовались методы марковской теории оптимального оценивания. При этом обработка информации радиосигналов СРНС производилась на первичном уровне (уровне обработки радиосигналов). Это позволило помимо оценивания информационных параметров радиосигналов (псевдодальности и фазы), что необходимо для решения задач оценивания координат местоположения ПНО и параметров его движения, решить задачу определения наличия радиосигналов на входе АП СРНС, а также идентифицировать постоянную составляющую ошибки акселерометра. Данный параметр входит в математическую модель, описывающую сигнал на выходе акселерометра, входящего в состав ИНС. Решение задачи идентификации позволило, в отличие от всех известных алгоритмов обработки информации в НК СРНС, по новому решить задачу обеспечения целостности навигационных данных, передаваемых радиосигналами СРНС. Под целостностью понимается способность НК за заданный интервал времени и с заданной вероятностью определять недостоверные навигационные данные СРНС.

Оценка целостности. Новая постановка задачи синтеза с целью решения задачи идентификации привела к созданию многоканальной системы обработки информации в НК. При этом число каналов обработки зависит от допустимых пределов изменения параметра достоверности - постоянной составляющей ошибки акселерометра. Для определения времени идентификации параметра достоверности с заданной вероятностью в зависимости от числа каналов обработки информации было проведено математическое моделирование разработанных в [1–4] алгоритмов на ЭВМ. Некоторые результаты моделирования представлены на рисунке 1, где показаны зависимости вероятности P идентификации параметра до-

стоверности от времени идентификации для различного числа каналов: кривая 1 для числа каналов 40; кривая 2 для числа каналов 30 и кривая 3 для числа каналов 20. Результаты моделирования показали, что разработанные алгоритмы позволяют за малое время с высокой вероятностью идентифицировать параметр достоверности, с помощью которого определяется целостность навигационных данных СРНС.

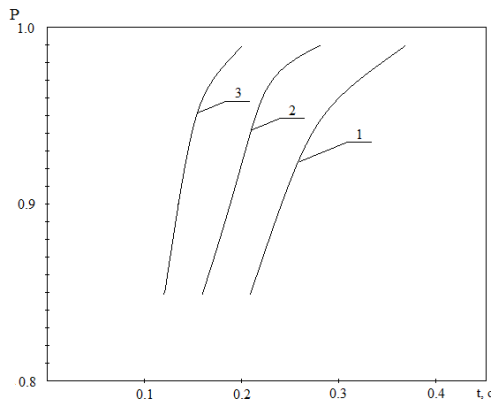


Рисунок 1

Проведенные исследования также показали:

- увеличение числа каналов приводит к увеличению времени идентификации параметра, так для числа каналов 20 время идентификации параметра достоверности с вероятностью $P = 0.96$ составляет значение порядка 0.16 сек, а для числа каналов 40 время идентификации с той же вероятностью составляет значение 0.3 сек;

- для увеличения вероятности идентификации при заданном числе каналов необходимо большее время.

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

Список использованной литературы

1. Ivanov, A. V. Quasi-Optimal Algorithms for Detection, Identification, and Adaptive Estimation for Information Processing in Navigation Systems of Mobile Ground Objects Based on Satellite Radio Navigation Systems/ V. O. Surkov, D. V. Komrakov// Journal of Communications Technology and Electronics. – 2020. – Vol. 65. - No. 6. – P. 609 – 617.
2. Ivanov, A. V. Study of problem solution quality for detection of discrete failure parameter by complex adaptive data processing algorithms for mobile ground object navigation systems / V. O. Surkov, M. P. Belyaev, L. G. Varepo, P. S. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1260, Issue 3, article id. 032020 (2019).

3. Ivanov, A. V. Optimal Algorithms of Data Processing in Navigation Complexes of on-Earth Mobile Objects with Autonomous Integrity Monitoring of Navigation Data of Satellite Radio Navigation Systems / A. V. Ivanov, D. V. Komrakov // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2017. – Vol. 62. - No. 4. – P. 360 – 370.
4. Иванов, А.В. Исследование комплексных адаптивных алгоритмов обработки информации для навигационных систем подвижных наземных объектов/ А.В. Иванов, С.П. Москвитин, О.В. Сурков//Вестник ТГТУ. – 2019. – Т. 25, № 3. – С. 395-405.

Нетесов Е.Ю., Зацепина В.И.

ПОСТРОЕНИЕ ВНУТРИЦЕХОВОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БАЗЕ СЕТИ LORAWAN

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)

***Аннотация:** в работе представлены результаты построения внутрицеховой системы учета электроэнергии на базе сети LoRaWAN. Разработана схема оптимального размещения приборов по ячейкам подстанций для формирования баланса электроэнергии цеха.*

***Ключевые слова:** облачный сервер, LoRaWAN, приборы учета, ИИСДУ «Энерго».*

В основе сетей LoRaWAN (LongRangeWideAreaNetworks) лежит использование запатентованного компанией «Semtech» метода модуляции LoRa, обеспечивающего рекордную производительность бюджета канала связи (до 168 дБ). Разработкой и интеграцией LoRaWAN занимается некоммерческая организация LoRaAlliance [1-3]. Помимо основателей альянса, компаний «IBM» и «Semtech», в это объединение входят известные производители электроники, такие как «Cisco», «Kerlink», «IMST», «Microchip Technology», а также ведущие операторы связи («Bouygues Telecom», «Inmarsat» и др.), при этом количество зарегистрированных членов постоянно увеличивается [1, 4]. Учитывая основные характеристики и ключевые особенности сетей LoRaWAN, а именно — длительный срок эксплуатации узлов сети без обслуживания и большой охват их действия, можно отметить наиболее привлекательные области внедрения. Применение интеллектуальных беспроводных счетчиков помогает легко организовать автоматизированный учет расходов энергоресурсов (воды, тепла, газа, электроэнергии) в масштабе крупного промышленного предприятия, а также мониторинг в режиме реального времени состояния используемого оборудования [1-3].

В энергетике построение автоматизированных умных сетей электроснабжения позволяет повысить эффективность использования электроэнергии в зданиях и на производственных предприятиях. В промышленности уже функционируют сотни миллионов устройств, готовых к подключению. Среди них особый интерес представляют системы технического обслуживания и ремонта, управления технологическими процессами, «smart-» насосы, компрессоры, клапаны и т.д.

Цель данной работы – построение и изучение внутрицеховой системы учета электроэнергии на базе сети LoRaWAN. Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Протестировать качество связи и зону покрытия сети LoRaWAN на территории цеха;
- Развернуть беспроводную сеть сбора данных;
- Осуществить интеграцию ИИСДУ «Энерго» с облачным сервером LoRaWAN;
- Запустить систему в промышленную эксплуатацию.

Тестирование качества связи и зоны покрытия сети LoRaWAN на территории цеха. Собрана и проанализирована информация о расположении и параметрах зданий и сооружений цеха. Разработана карта покрытия и качества связи, на основании которой был сделан вывод о возможности применения сети в условиях отдельного цеха.

Организация беспроводной сети сбора данных. Смонтировано 202 приборов учета электроэнергии, оборудованными модемами LoRaWAN. Смонтировано 12 приборов учета воды, оборудованными модемами LoRaWAN. Установлено 3 базовые станции сбора данных с ПУ и передачи на сервер LoRaWAN. Определены точки размещения и количество базовых станций для обеспечения бесперебойной работы сети. Разработана и согласована совместно с предприятием архитектура передачи данных в облачный сервер сбора данных LoRaWAN и в БД ИИСДУ «Энерго». Информация о потреблении электроэнергии передается каждые полчаса, с приборов учёта воды каждый час по беспроводному каналу связи на базовые станции (БС) затем по корпоративной сети предприятия попадает в облачный сервер LoRaWAN откуда затем отправляется через действующую шину данных SAP PO и интегрируется в базу данных ИИСДУ «Энерго».

Особенности интеграции ИИСДУ «Энерго» с облачным сервером LoRaWAN. Проведен анализ потребления оборудования по отдельным участкам цеха и определены энергоёмкие и ответственные потребители электроэнергии. Разработана схема оптимального размещения приборов по ячейкам подстанций для формирования баланса электроэнергии цеха. Разработаны сервисы передачи данных с ПУ через сервер LoRaWAN в БД организации (Рис. 1).

Запущен механизм передачи данных потребления электроэнергии и расхода технической воды, питьевой и горячей воды в БД ИИСДУ «Энерго». Сервисы переведены в продуктивную эксплуатацию для учёта и анализа использования энергоресурсов сеть технического учёта цеха, в которую можно при необходимости добавлять приборы учёта любых ресурсов.



Рис. 1. Сервисы передачи данных с ПУ через сервер LoRaWAN в БД организации.

Апробация работы системы в реальных условиях. Разработан комплект нормативных документов в соответствии с требованиями предприятия. Разработан SLA для поддержки процесса передачи данных. Проведено тестирование и проверка переданных данных на тестовом сервере, а также отлажен и настроен продуктивный контур передачи данных.

Система полностью переведена на продуктивные сервера и данные уже используется для анализа энергопотребления и аккумуляции. Анализ данных энергопотребления (рис. 2) в детализации по конкретным участкам цеха позволит пересмотреть нормативные значение потребления и разработать мероприятия по повышению энергоэффективности.

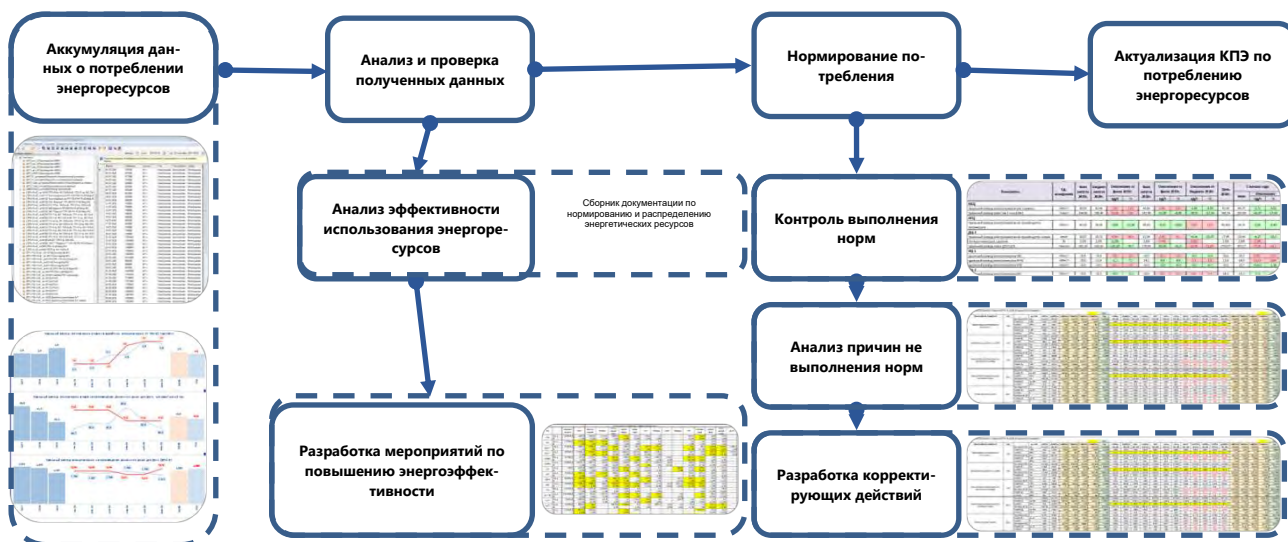


Рис. 2. Блок-схема анализа данных энергопотребления

На основании проведенных тестов беспроводной сети и анализа полученных данных система удовлетворяет требованиям предъявляемым к техническим системам учёта энергоресурсов. Для подтверждения эконо-

мического эффекта от внедрения системы учёта энергоресурсов требуется время на аккумулирование и анализ данных о потреблении энергоресурсов, на основании которых будут разработаны мероприятия повышения энергоэффективности и снижения затрат.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 17-48-480083 р_а «Оптимизация динамики и энергосбережение в электротехнических комплексах территориально-промышленных кластеров Липецкой области»

Список использованной литературы

1. Особенности и тенденции развития технологии LoRaWAN [Текст]/ К. Верхулевский// Беспроводные технологии. – 2017. - № 1(46). – С. 12-18.
2. TS-LoRa: Time-slotted LoRaWAN for the Industrial Internet of Things [Text] / D. Zorbas, K. Abdelfadeel, P. Kotzanikolaou, D. Pesch// Computer Communications. – 2020. – V. 153. – P. 1-10.
3. Improving Unwavering Quality and Adaptability Analysis of LoRaWAN [Text]/ S. Hariprasad, T.Deepa// Procedia Computer Science. – 2020. - V. 171. - P. 2334-2342.
4. Time Difference of Arrival Localization Study for SAR Systems over LoRaWAN [Text]/ C. Bouras, A. Gkamas, V. Kokkinos, N. Papachristos// Procedia Computer Science. – 2020. - V. 175. - P. 292-299.

Павлов П.А. ¹

ОБЗОР ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ МИС СВЧ

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(г. Москва)

Аннотация: В статье проведен обзор МИС СВЧ, были проанализированы основные материалы и активные компоненты, а также рассмотрены новые перспективные материалы МИС СВЧ.

Ключевые слова: МИС СВЧ, материалы подложек СВЧ, транзистор с высокой подвижностью электронов, биполярный гетеротранзистор

Монолитные интегральные схемы СВЧ (далее МИС) – относительно новая технология схем СВЧ-диапазона, которая активно развивается в течение последних нескольких десятков лет. МИС СВЧ представляет собой интегральную схему, изготовленную по твердотельной технологии и предназначенную для работы на сверхвысоких частотах. В качестве материалов подложки используются различные материалы, но основными являются GaAs, InP и GaN. Наиболее типичными МИС СВЧ являются малощумящие усилители, смесители, усилители мощности, модуляторы и др.[1] В данной работе будут рассмотрены основные материалы МИС СВЧ и используемые активные элементы.

Материалы МИС СВЧ

Сначала МИС СВЧ пытались изготавливать на кремнии, по аналогии с обычными интегральными схемами. Но, так как у кремния очень ограниченная подвижность носителей заряда, то работоспособность кремниевых ИС очень ограничена на высоких частотах [2]. Для производства МИС СВЧ используют соединения типа АЗВ5. Как было указано выше, для СВЧ используются GaAs, InP и GaN. В таблице 1 приведены характеристики материалов подложек, а также, для сравнения, приведены характеристики кремния [3]. Также в [2, 4] упоминается алмаз, как перспективный материал для СВЧ транзисторов. Подвижности электронов и дырок равны $4500 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и $3800 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ соответственно [4]. А также соответствующие скорости дрейфа в насыщении равны $(1,5\text{--}2,7)\cdot 10^7$ и $(0,85\text{--}1,2)\cdot 10^7 \text{ см/с}$. Также алмаз обладает высокой радиационной стойкостью, что позволяет использовать его для космических применений. На

рисунке 1 приведена зависимость выходной мощности СВЧ устройства от рабочей частоты и применяемого материала [2].

Таблица 1 – Характеристики наиболее используемых материалов подложек

Материал	Подвижность электронов, см ² /В·с	Максимальная скорость электронов, см/с	Диапазон частот, ГГц
Si	900-1100	0.3-0.7 · 10 ⁷	<20
GaAs	5500-7000	1.6-2.3 · 10 ⁷	>75
InP	10000-12000	2.5-3.5 · 10 ⁷	>115
GaN	400-1600	1.2-2.0 · 10 ⁷	20-30

Отсюда видно, что алмаз обладает высокой выходной мощностью на всем диапазоне рабочих частот, что может позволить алмазным СВЧ транзисторам занять определенное место.

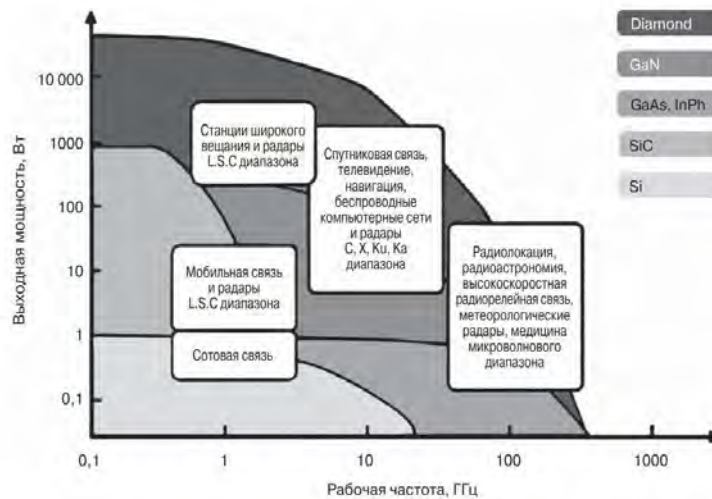


Рисунок 1 - Зависимость выходной мощности СВЧ устройства от рабочей частоты и применяемого материала

Активные элементы МИС СВЧ

Рассмотрим активные элементы, используемые в МИС СВЧ. Основным активным элементом является полевой транзистор с барьером Шоттки (MESFET) [3, 5]. Типовая структура MESFET представлена на рисунке 2 [5].

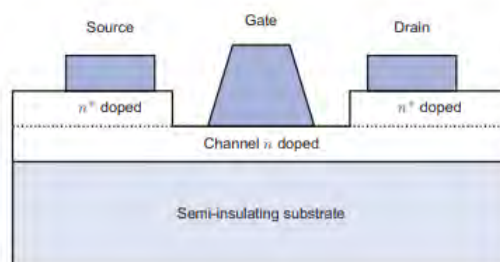


Рисунок 2 - Типовая структура MESFET

Для MESFET используются GaAs подложка. Частотные характеристики такого транзистора зависят от длины затвора, а мощностные характеристики от его ширины. Для улучшения мощностных характеристик производят каскадирование MESFET (рисунок 3).

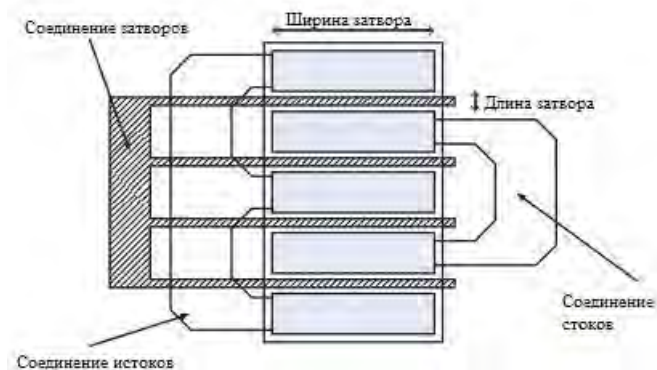


Рисунок 3 - Типовая топология каскада MESFET

Однако, кроме полевых транзисторов с барьером Шоттки активно используются транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT) и биполярные гетеротранзисторы (HBT). Типовая структура HEMT приведена на рисунке 4.

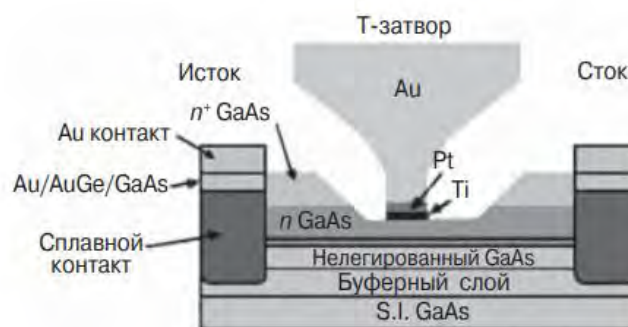


Рисунок 4 - Типовая структура HEMT

Основным отличием HEMT является то, что канал построен из соединения двух полупроводников, то есть гетероперехода. Свободные электроны, обеспечиваемые легирующими атомами n-типа, очень плотно прилегают к гетеропереходу и образуют так называемый двумерный электронный газ. Этот двумерный электронный газ изолирован от атомов решетки, поэтому они не будут сталкиваться с ними, что дает электронам более высокую подвижность [3].

Биполярные гетеротранзисторы имеют вертикальную структуру, в отличие от рассмотренных ранее полевых транзисторов (рисунок 5) [1,2].

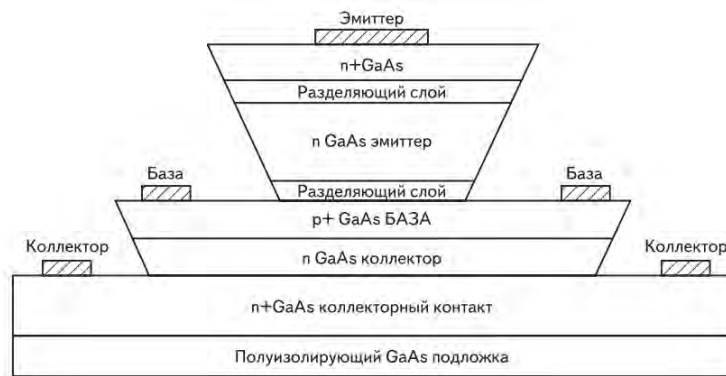


Рисунок 5 - Структура биполярного гетеротранзистора

За счет своей структуры они обеспечивают более быстрое переключение, в основном за счет уменьшенного сопротивления базы и чрезвычайно малой емкости между коллектором и подложкой [1].

Не смотря на утверждение [1,2,5], что MESFET является основным элементом МИС СВЧ, в [3] утверждается, что MESFET применяются, в основном, в СВЧ переключателях. Для наглядности приведем таблицу 2 рекомендаций использования активных элементов для разработки МИС СВЧ из [4]. При этом, согласно [1,2], стоимость НВТ не является высокой, что говорит о целесообразности применения НВТ для МИС СВЧ. При этом данные таблицы 2 подтверждаются и в [1].

Таблица 2 – Типы схем МИС СВЧ, наиболее подходящие для различных типов транзисторов [3].

Тип СВЧ схемы	SiGe НВТ	GaAs/ InP НВТ	MESFET	HEMT
СВЧ-генераторы	+	+	-	-
Смеситель	+	+	-	-
Маломощный усилитель	+	+	-	+
Усилитель мощности	-	+	-	+
Переключатель	-	-	+	+

Таким образом, при производстве МИС СВЧ применяются различные материалы подложек, типы и технологии изготовления транзисторов. Долгое время основным элементом МИС СВЧ считался MESFET, в основном из-за того, что он появился первым. Однако, в настоящее время активно применяются и используются HEMT, PHEMT и НВТ с применением различных материалов. В том числе для маломощных усилителей используются транзисторы с высокой подвижностью электронов, а для изготовления смесителей применяются биполярные гетеротранзисторы. Также, у алмазных транзисторов есть все основания стать отличным выбором для производства СВЧ схем в космической отрасли.

Список использованной литературы

1. Александров Роман. "Монолитные интегральные схемы СВЧ: взгляд изнутри" Компоненты и Технологии, №. 53, 2005, с. 174-182.
2. Белоус А. И. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. Техническая энциклопедия : в 2 кн. / А. И. Белоус, М. К. Мерданов, С. В. Шведов. – Изд. 2-е доп. – Москва: Техносфера, 2018. – (Мир электроники; VII-64). Кн. 1 : . – 2018. – 817 с
3. Stephen P. Marsh. Practical MMIC Design. // Artech House Publishers – 2006. – 377 p.
4. Алтухов А.А., Талипов Н.Х., Чучева Г.В. Полевой СВЧ-транзистор на основе алмаза с δ -легированным бором каналом. In: 26-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2016), 4-10 сентября 2016г., г. Севастополь, Россия , С. 1385-1389.
5. Clive Poole, Izzat Darwazeh. Microwave Active Circuit Analysis and Design. // Academic Press, 2015 - Technology & Engineering – 664 p.

Першин А.А., Головченко¹ Е.В., Москвитин² С.П.

ФАКТОР НИЗКОЙ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЁННОСТИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ

¹*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия
им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*
²*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»*

Аннотация: В статье рассмотрен термин ситуационной осведомленности, а также проведена аналитика возникновения кризисных ситуаций воздушных судов.

Ключевые слова: безопасность полетов, ситуационная осведомленность, кризисные ситуации,

Термин «ситуационная осведомлённость» появился ещё в начале 20-го века, а затем, к середине 20-го века стал применяться и в авиации. Под его значением понимается способность получения необходимого для принятия решения в реальном времени полного и точного объёма информации с использованием современных инфрокоммуникационных авиационных сетей передачи данных. К таким информационным сведениям для лётных экипажей судов гражданской авиации в Российской Федерации можно отнести аэронавигационную и метеорологическую информацию, передачу донесений о местоположении воздушных судов, оперативную информацию связанную с началом, продолжением или прекращением полёта, исходя из интересов обеспечения регулярности, эффективности и безопасности полётов. Выполнение полётных заданий экипажами сложный процесс, требующий от лётного состава всех его практических навыков и умений. Использование новых технологий, как следствие, ведёт к усложнениям в конструкции летательных аппаратов. Вышеперечисленные факторы вводят дополнительные риски в процесс безопасной эксплуатации воздушных судов. Под безопасностью полётов понимается состояние авиационной системы, при котором факторы, связанные с авиационной деятельностью по эксплуатации воздушных судов или непосредственно обеспечивающей такую эксплуатацию, снижены до приемлемого уровня, контролируются или полностью отсутствуют.[1] К таким факторам следует отнести и фактор низкой ситуационной осведомленности лётного состава.

Анализ состояния безопасности полётов в гражданской авиации в Российской Федерации за последние четыре года, подготовленный с использованием информации по результатам анализа производственных происшествий, инцидентов подчёркивает, что взлёт, набор заданного эшелона по схеме, а также снижение в районе аэродрома посадки, предпосадочные манёвры и сама посадка являются самыми сложными и напряжёнными этапами полёта. Зачастую указанные этапы полета могут выполняться в сложных метеоусловиях, в условиях ограниченной видимости и интенсивного полета коммерческой авиации вблизи крупных аэропортов. Согласно проведённого исследования в этих условиях достаточно часты нарушения порядка использования воздушного пространства, а именно:

Нарушение интервалов эшелонирования, использование воздушного пространства без разрешения, использование воздушного пространства запретной зоны ограничения, несанкционированное отклонение воздушного судна за пределы границ маршрута, взлёт воздушного судна в контролируемое пространство без разрешения органа организации воздушного движения. [2]

Все указанные нарушения в ряде случаев приводят к столкновениям в зонах взлёта воздушных судов на этапе набора высоты и выхода по заданной схеме, к столкновениям на малых высотах с различными высотными объектами, с землёй в районе аэродрома на этапах взлёта, а также при снижении и заходе воздушного судна на посадку. Одним из факторов, которые могли привести к сложившейся кризисной ситуации с воздушными судами мог быть фактор низкой ситуационной осведомленности между экипажем воздушного судна и зональным диспетчером единой системы организации воздушного движения.

Кризисные ситуации это процесс, протекающий в условиях жёсткого дефицита времени. Наличие легко доступной, своевременно необходимой для выхода из сложившейся ситуации информации или информации предупреждающей попадание в такую ситуацию является необходимым условием. Поэтому развитие и практическая реализации собственных технологий воздушной радиосвязи, новых способов обеспечения надёжных каналов связи с воздушными судами государственной авиации Российской Федерации при выполнении ими различных полётных заданий на территории Российской Федерации, а также за её пределами может снизить фактор низкой ситуационной осведомлённости, а в ряде случаев полностью исключить.

Работа частично выполнена при финансовой поддержки Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 14-08-00523

Список использованной литературы

1. Головченко Е.В., Авиационные инфокоммуникационные сети: монография/ Е.В.Головченко, П.А. Федюнин, В.А. Дьяченко, М.А. Стафеев. – Воронеж.: ВУНЦ ВВС «ВВА» (г.Воронеж), 2018. – 223 с.
2. Карганов В.В., Расчесова А.Г., Кудряшов В.А. Показатель оценки эффективности систем Федеральное агентство транспорта. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации, – Москва.: 2016 – 76 с.

Сарычев Р.А.¹, Хребтов А.Р.¹, Панасюк Ю.Н.¹

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

¹Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Аннотация: в данной работе рассмотрены вопросы обеспечения безопасности полетов воздушных судов, а также разработки оптимального алгоритма функционирования измерителя угловых координат автоматизированной системы управления воздушным движением.

Ключевые слова: алгоритм, функционирование, воздушное судно, АС УВД, оптимальная фильтрация.

Обеспечение безопасности полетов воздушных судов (ВС) является одной из важнейших задач в наше время. Для того, чтобы обеспечить высокий уровень безопасности в воздушном пространстве, необходимо заняться вопросами по улучшению точностных характеристик автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД) [1, 2].

Целью работы является разработка оптимального алгоритма функционирования измерителя угловых координат автоматизированной системы управления воздушным движением.

Задачи работы:

- анализ существующих алгоритмов оптимальной линейной фильтрации;
- выбор модели состояния и наблюдения;
- синтез алгоритма функционирования АС УВД.

АС УВД – автоматизированный комплекс, предназначенный для управления воздушным движением воздушных судов. Главная задача такой системы состоит в грамотном проведении воздушных судов через свою зону ответственности, исключая их опасное сближение или столкновение.

С современных АС УВД для обработки информации используются фильтры, построенные на основе методов оптимальной линейной фильтрации. Широкое применение получили алгоритмы, построенные на α - β и α - β - γ фильтрах. Принцип таких алгоритмов заключается в том, что цель движется с постоянной скоростью и, соответственно, постоянным ускорением. В таких фильтрах коэффициенты передачи постоянны. В фильтрах

с переменными коэффициентами благодаря пересчету их коэффициентов можно значительно повысить точность измерения координат в пространстве. Применение фильтров с переменными коэффициентами позволяет также повысить пропускную способность АС УВД при заданном уровне безопасности [2, 3].

Для вторичной обработки полученной информации о местоположении воздушного судна среди фильтров с переменными коэффициентами наиболее предпочтительными являются фильтры Калмана, обладающие рядом преимуществ, а именно:

- на практике реализуется структура системы, обеспечивающей несмещенные оценки и минимальные ошибки фильтрации;
- в оптимальных фильтрах результаты измерений обрабатываются по мере их получения в реальном масштабе времени.

В качестве модели состояния выбрана зингеровская модель, где моделирование ускорения производится с помощью стационарного процесса применительно к ансамблю всех возможных траекторий. Зингеровская модель состояния угломерного канала имеет следующий вид [1, 2]:

$$\left. \begin{aligned} \varphi(k) &= \varphi(k-1) + V(k-1)T + 0,5a(k-1)T^2; \\ \omega(k) &= \omega(k-1) + a(k-1)T; \\ a(k) &= (1 - \alpha_\phi T)a(k-1) + \xi_a(k-1); \\ \varphi_{\text{и}}(k) &= \varphi(k) + \xi_{\varphi_{\text{и}}}(k), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где α_ϕ – постоянная времени маневра; $\xi_a(k-1)$ – дискретный центрированный гауссовский шум с известной дисперсией D_a ; $\xi_{\varphi_{\text{и}}}(k)$ – дискретный центрированный гауссовский шум измерения с известной дисперсией $D_{\varphi_{\text{и}}}$.

На основании зингеровской модели состояния и наблюдения алгоритм функционирования будет выглядеть следующим образом:

$$\varphi_o(k+1) = \varphi_s(k+1) + K_{\phi 11}(k+1)\Delta\varphi(k+1); \quad (2)$$

$$\omega_o(k+1) = \omega_s(k+1) + K_{\phi 21}(k+1)\Delta\varphi(k+1); \quad (3)$$

$$a_o(k+1) = a_s(k+1) + K_{\phi 31}(k+1)\Delta\varphi(k+1); \quad (4)$$

$$\varphi_s(k+1) = \varphi_o(k) + \omega_o(k)\tau + a_o(k)\tau^2/2; \quad (5)$$

$$\omega_s(k+1) = \omega_o(k) + a_o(k)\tau; \quad (6)$$

$$a_s(k+1) = (1 - \alpha \cdot \tau)a_o(k) + \xi_a(k) \quad (7)$$

$$\Delta\varphi(k+1) = \varphi_{\text{и}}(k+1) - \varphi_s(k+1); \quad (8)$$

$$P_3(k+1) = \begin{bmatrix} P_{311}(k+1) & P_{312}(k+1) & P_{313}(k+1) \\ P_{321}(k+1) & P_{322}(k+1) & P_{323}(k+1) \\ P_{331}(k+1) & P_{332}(k+1) & P_{333}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tau & 0,5\tau^2 \\ 0 & 1 & \tau \\ 0 & 0 & 1 - \alpha \cdot \tau \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{aligned} & \times \begin{bmatrix} P_{011}(k+1) & P_{012}(k+1) & P_{013}(k+1) \\ P_{021}(k+1) & P_{022}(k+1) & P_{023}(k+1) \\ P_{031}(k+1) & P_{032}(k+1) & P_{033}(k+1) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \tau & 1 & 0 \\ 0.5\tau^2 & \tau & 1-\alpha \cdot \tau \end{bmatrix} + \\ & + \begin{bmatrix} Q_{x11} & Q_{x12} & Q_{x13} \\ Q_{x21} & Q_{x22} & Q_{x23} \\ Q_{x31} & Q_{x32} & Q_{x33} \end{bmatrix}; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} K_{\phi}(k+1) &= \begin{bmatrix} K_{\phi 11}(k+1) \\ K_{\phi 21}(k+1) \\ K_{\phi 31}(k+1) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} P_{\text{э}11}(k+1) & P_{\text{э}12}(k+1) & P_{\text{э}13}(k+1) \\ P_{\text{э}21}(k+1) & P_{\text{э}22}(k+1) & P_{\text{э}23}(k+1) \\ P_{\text{э}31}(k+1) & P_{\text{э}32}(k+1) & P_{\text{э}33}(k+1) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \times \\ & \times \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_{\text{э}11}(k+1) & P_{\text{э}12}(k+1) & P_{\text{э}13}(k+1) \\ P_{\text{э}21}(k+1) & P_{\text{э}22}(k+1) & P_{\text{э}23}(k+1) \\ P_{\text{э}31}(k+1) & P_{\text{э}32}(k+1) & P_{\text{э}33}(k+1) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \right. \\ & \left. R_{\phi} \right\}^{-1}; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} P_0(k+1) &= \begin{bmatrix} P_{011}(k+1) & P_{012}(k+1) & P_{013}(k+1) \\ P_{021}(k+1) & P_{022}(k+1) & P_{023}(k+1) \\ P_{031}(k+1) & P_{032}(k+1) & P_{033}(k+1) \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} P_{\text{э}11}(k+1) & P_{\text{э}12}(k+1) & P_{\text{э}13}(k+1) \\ P_{\text{э}21}(k+1) & P_{\text{э}22}(k+1) & P_{\text{э}23}(k+1) \\ P_{\text{э}31}(k+1) & P_{\text{э}32}(k+1) & P_{\text{э}33}(k+1) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_{\phi 1}(k+1) \\ K_{\phi 2}(k+1) \\ K_{\phi 3}(k+1) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \\ & \times \begin{bmatrix} P_{\text{э}11}(k+1) & P_{\text{э}12}(k+1) & P_{\text{э}13}(k+1) \\ P_{\text{э}21}(k+1) & P_{\text{э}22}(k+1) & P_{\text{э}23}(k+1) \\ P_{\text{э}31}(k+1) & P_{\text{э}32}(k+1) & P_{\text{э}33}(k+1) \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для реализации алгоритма (2) – (11) необходимо пользоваться следующей методикой:

– изначально вводятся начальные условия ($k=0$) вектора $x(0)$, время дискретизации τ , элементы постоянных матриц H , R , Q_x , Φ , Φ^T и матрицы $P_0(0)$;

– вычисляются на 1-м шаге матрицы: $P_{\text{э}}(1)$, $K_{\phi}(1)$, составляющие вектора $x_{\text{э}}(1)$, а также векторов $\hat{x}(1)$, $\hat{\phi}(1)$, $\hat{\omega}(1)$, $\hat{A}(1)$. В заключении производится расчет матрицы $P_0(1)$.

Шаг закончен. Далее в том же порядке производятся вычисления следующего шага $P_3(2)$, $K_f(2)$ и т.д.

Таким образом, использование разработанного алгоритма функционирования позволит по величине невязки производить пересчет коэффициентов фильтра, что позволит увеличить точность обработки измерений.

Список используемых источников

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 ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

Севодина А.Н.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Тамбовский государственный технический университет (г.Тамбов)

***Аннотация:** разработана информационная модель гематологического анализатора, которая позволяет упростить выбор оптимального ИМТ.*

***Ключевые слова:** оснащение, лаборатория, гематологический анализатор, кровь.*

Клинический анализ крови является важнейшим лабораторным исследованием при постановке диагноза, так как при любых патологиях происходит изменение в составе и свойствах крови.

Основной сложностью при оснащении ЛПУ является корректное составление технического задания на требуемые гематологические анализаторы и выбор оптимального из числа предложенных. Выбор и закупка гематологических анализаторов должны рассматриваться индивидуально, так как каждое отделение в каждом ЛПУ выдвигает свои требования и имеет свой бюджет на его приобретение. Очевидно, что закупленный в итоге гематологический анализатор должен соответствовать заявленным требованиям и поставленным задачам.

Информационные модели являются основой для разработки баз данных, которые позволяют при заданных условиях сделать оптимальный выбор медицинского изделия [1,2]. Информационная модель гематологических анализаторов включает в себя всю необходимую информацию для оптимального выбора анализатора в зависимости от типа лаборатории.

На рисунке 1 представлена информационная модель в виде пакета классов – «Гематологический анализатор». На верхнем уровне иерархии ИМТ находится «Назначение ИМТ». Атрибуты данного класса имеют тип данных Boolean. Данные атрибуты носят характер логических значений. В данный класс включены такие атрибуты как «Гематологический», «Автоматический», «Лейкоцитарная формула».

Атрибут «Автоматический» играет важную роль при выборе ИМТ. Гематологические анализаторы, имеющие значение данного атрибута false, являются полуавтоматическими, то есть, нет полного исключения

работы оператора, что может привести к ошибкам в полученных результатах. В автоматических анализаторах вмешательство лаборанта сводится к минимуму.

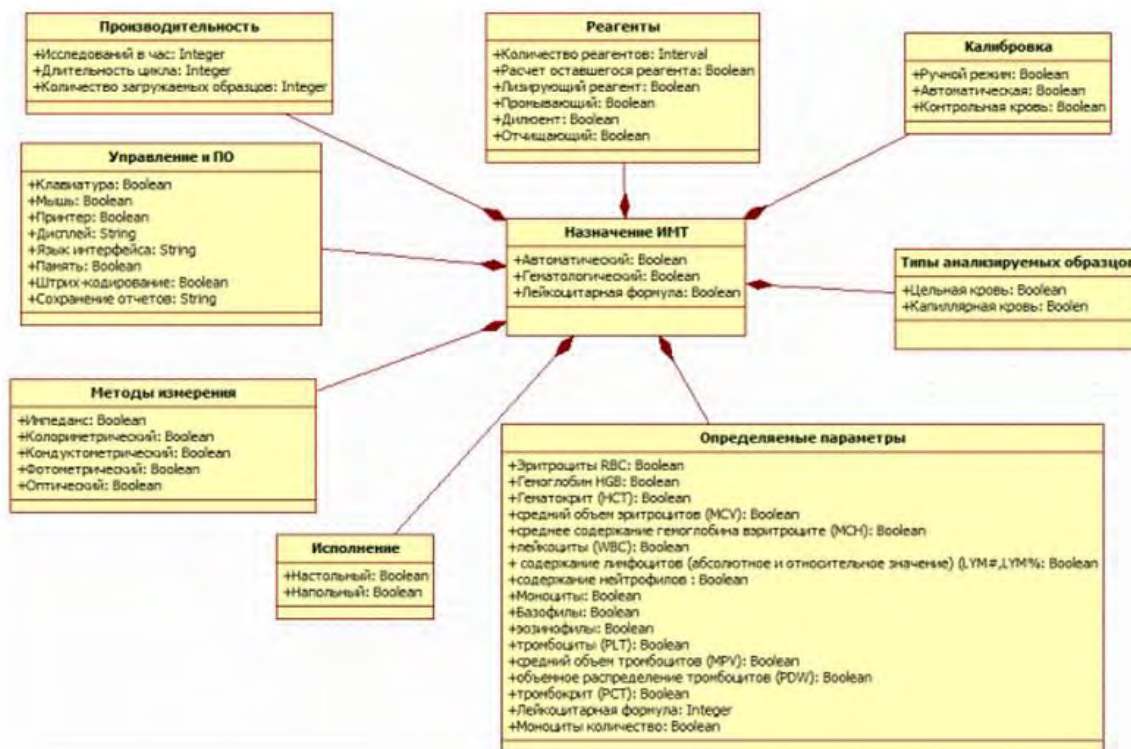


Рисунок 1 — Информационная модель

Атрибут «Гематологические» отражает назначение ИМТ. Существует большое количество анализаторов, назначение которых различно. Если данный атрибут имеет значение false, то анализатор может представлять собой иммунохимический или биохимический анализатор. Данные показатели имеют большое значение в диагностике, так как при различных заболеваниях содержание данных клеток в крови варьируется. Такие анализаторы имеют атрибут «Гематологический» со значение True. Очень важен атрибут «Лейкоцитарная формула», он отражает возможность анализатора дифференцировать лейкоциты на субпопуляции. При значении данного атрибута True гематологический анализатор способен делить лейкоциты на субпопуляции.

В отношении композиции с классом «Назначение ИМТ» состоит несколько классов. Класс «производительность» включает в себя атрибуты, представленные типом данных Integer. Атрибут «Исследований в час» характеризует количество исследований производимых анализатором в час. Это важный параметр при выборе ИМТ, так как лаборатории бывают различными по объему исследований и для каждой лаборатории необходима своя производительность анализатора. Производительность зависит

так же от длительности цикла, то есть от продолжительности проведения одного анализа. Именно это отражает атрибут «длительность цикла», тип данных так же является целочисленным значением Integer.

Атрибут «Количество загружаемых образцов» определяется целочисленными значениями. Данный атрибут отражает количество образцов, которое можно поместить одновременно на борт анализатора для проведения исследования.

Класс «Реагенты» является так же важным при выборе гематологического анализатора, ведь реагенты являются расходным материалом данного вида ИМТ. Поэтому важно, чтобы реагенты экономично расходовались, а их количество было достаточно для проведения необходимых исследований.

Класс «Тип анализируемых образцов» включает в себя два атрибута «Цельная кровь» и «Капиллярная кровь», которые имеют тип данных Boolean. Современные гематологические анализаторы могут работать как с цельной кровью, так и с капиллярной. Это позволяет использовать анализаторы как при исследовании крови взрослых, так и в педиатрии.

Класс «Определяемые параметры» включает в себя все возможные измеряемые параметры, которые можно определить с помощью гематологических анализаторов.

Класс «Исполнение» имеет два атрибута, тип данных которых определяется логическими значениями. Возможность экономии места в помещении может позволить увеличить возможности лаборатории путем использования дополнительного лабораторного оснащения.

Класс «Методы измерения» включает в себя методы измерения, которые используются для исследования различных параметров крови. Каждый атрибут данного класса представлен логическим типом данных. Для измерения определенных параметров необходим конкретный метод измерения. Зная методы, используемые для измерения параметров, можно определить измерение каких параметров будет производиться анализатором, что позволит спрогнозировать корректное оснащение лаборатории.

Класс «Управление и ПО» является важным по отношению к работе с анализатором. Данный класс включает в себя атрибуты, которые помогают оператору в использовании и управлении гематологическим анализатором.

Таким образом, все описанные классы и включенные в них атрибуты составляют информационную модель гематологического анализатора, которая способствует оптимальному выбору ИМТ.

Список используемых источников

1. Фролова, М.С., Фролова, Т.А., Толстухин, И.А. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода//Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2015 №4(58).С.139-145.
2. Фролов, С.В., Фролова, М.С., Потлов, А.Ю. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений // Врач и информационные технологии. – 2014. – №3. – С.35-45.

Сорока Е.П., Стафеев¹ М.А., Иванов² А.В.

ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА РАДИОСВЯЗИ С ЭКИПАЖАМИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ МОРСКОЙ АВИАЦИИ

*¹Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Жуковского Н.Е.
и Гагарина Ю.А.», Россия, Воронеж,*

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Эффективность применения авиационных формирований морской авиации на сегодняшний день в значительной мере определяется качеством управления ею на всех этапах полета.

В настоящее время приоритетной в морской авиации является радиосвязь предназначенная для организации дальней оперативной связи с самолетами. С ее помощью осуществляется передача на борт воздушного судна команд при решении задач наведения воздушного судна, а также передаче информации с борта на пункт управления.

Актуальность рассмотрения вопросов повышения качества радиосвязи с экипажами воздушных судов морской авиации обусловлено тем, что она является единственным средством управления экипажами в воздухе.

Повышение качеств радиосвязи с экипажами воздушных судов морской авиации с учетом специфики ее применения возможно путем построения автоматизированной системы воздушно-наземной связи.

Данная система предполагает развертывание наземных приемопередающих радиопередатчиков включающих в себя радиосредства различных диапазонов длин волн, а также совершенствование бортового радиоэлектронного оборудования воздушных судов. При этом наземные приемопередающие радиопередатчики должны быть объединены единой информационно-коммуникационной системой.

Повышение качества авиационной радиосвязи в морской авиации в ДКМВ диапазоне возможно путем реализации алгоритмов (процедур) частотной и сигнальной адаптаций. Возможным направлением повышения качества радиосвязи с учетом возрастающих требований к скоростям информационного обмена связи передачи данных является применение приемопередающих терминалов радиосвязи работающих в более высоких частотных диапазонах.

Автоматизированная система воздушно-наземной связи должна включать в себя подсистему управления реализующая задачи организационного, оперативно-технического и технологического управления. Наиболее существенными и сложными в реализации являются функции организационного управления связью. Данный уровень предполагает автоматизированную разработку планирующих распорядительных документов подразделениям связи и РТО авиационных формирований. В основу решения данных задач должны быть положены принятия решений на основе моделирования системы связи и РТО авиационного формирования в прогнозируемых условиях выполнения поставленных задач.

Эффективное решение задач оперативно-технического и технологического уровней управления связью возможно только в том случае если средства связи будут обладать технической возможностью транслировать свое техническое состояние системе управления в соответствии с информационными протоколами.

Выполнение вышеизложенных условий возможно путем применения автоматизированной системы управления связью и радиотехническим обеспечением.

В общем случае автоматизированная система управления связью и радиотехническим обеспечением представляет собой взаимоувязанную по целям, решаемым задачам и времени функционирования совокупность органов управления связью и радиотехническим обеспечением, пунктов управления связью, и технической основы системы управления связью и радиотехническим обеспечением, имеющей аппаратно-программную реализацию, средства автоматизации управления которой обеспечивают автоматизированное управление системой связи и радиотехнического обеспечения в различных условиях обстановки.

Автоматизированная система управления связью и радиотехническим обеспечением являясь основным инструментом многоуровневой поддержки принятия решений должностных лиц управления связью, для обеспечения планирования, подготовки к применению по назначению и восстановления системы связи и радиотехнического обеспечения, и боеспособности сил и средств, а также боевого применения подразделений связи с выполнением требований к устойчивости, непрерывности, оперативности и скрытности [1].

Таким образом, реализованная автоматизированная система управления должна обеспечить управление ресурсами воздушно-наземной системой связи с учетом специфики применения авиационных формирований морской авиации.

Исследование проведено при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 14-08-00523

Библиографический список

1. Арсланов Х.А. и др. Автоматизированная система управления связью Вооруженных Сил Российской Федерации и приоритетные направления ее развития // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации, 2016. С.17–20.

Стаценко Р.А., Зацепин Е. П.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УМНОГО УЧЕТА

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк),

Аннотация: в работе рассматриваются интеллектуальные системы учета для различных объектов электроэнергетики.

Ключевые слова: умный город, управление, автоматизация, цифровизация.

Умный учет является важным направлением IoT-решений, которое применимо в энергосбытовой деятельности для удаленного учета потребления электроэнергии[1].

Решения, существующие уже сегодня, позволяют получать данные о параметрах, которые поддаются измерению техническими устройствами, в помещениях или на улице. Вместо устаревшей системы учета постепенно внедряется учет энергоресурсов «SmartMetering», способный на высокоточном уровне надежности обеспечивать: измерение, управление и контроль за энергетическими ресурсами; автоматизированную транспортировку и потребление ресурсов; ускорение обработки и предоставления информации о потреблении ресурсов.«SmartMetering» широко применимо в секторе электроэнергетики.

В данный момент распространена практика возведения систем АСКУЭ, работающих на основе «SmartMetering» среди электросетевых, энергосбытовых компаний. Для сетевых компаний использование данных технологий предоставляет набор современных инструментов необходимых для снижения энергетических потерь и помогает выявлять искажение показаний, а также создает дополнительную защиту от хищений.

В свою очередь, энергосбытовая компания, применяющая «SmartMetering», получает автоматизированный сбор данных, способность ограничить отпуск мощностей в случае выявления задолженности у потребителя, стимулирование электронных расчетов и снижение комиссии [2]. Управляющие компании в секторе ЖКХ имеют удаленный автоматизированный доступ к данным потребителей и инструменты проведения расчетов. На рисунке 1 изображена схема системы, применяемой для жилых домов.

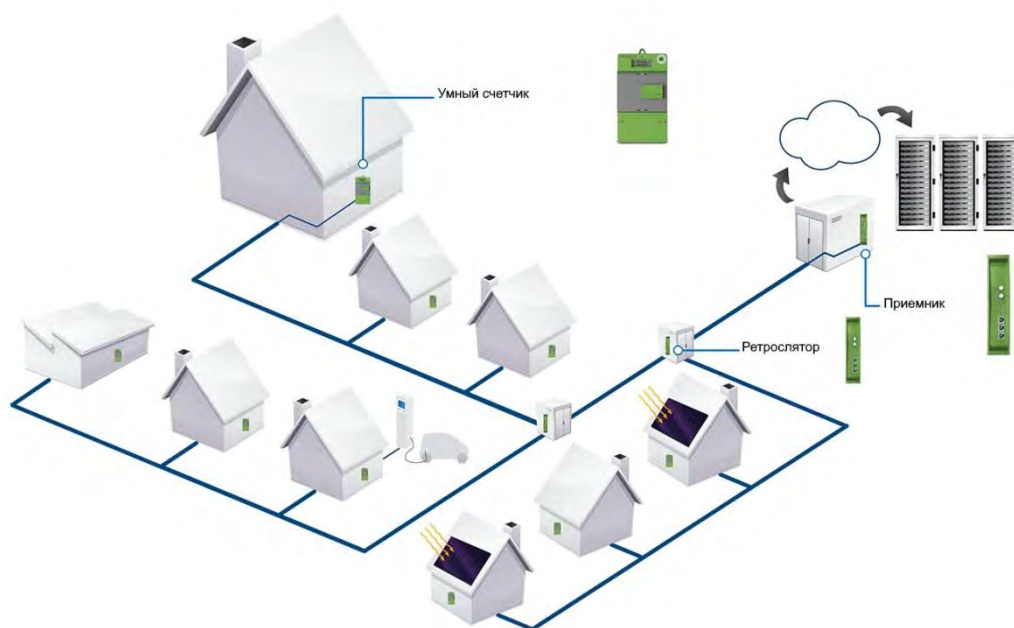


Рисунок 1 – Схема системы интеллектуального учета

В России, по данным Минэнерго РФ, не более 7% счетчиков имеют интеллектуальные функции. В современном энергетическом комплексе большое количество потребителей переходят на прямые договора с поставщиками энергоресурсов и именно поставщики заинтересованы в удалённой диспетчеризации.

Исходя из описанных достоинств, можно сделать вывод о том, что переход к умному учету в современном мире необходим и существенные вложения в данную сферу окупятся путем снижения потерь и повышением эффективности использования невозобновляемых ресурсов.

Исследование выполнено частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 17-48-480083 p_a

Библиографический список

1. IoT-решения для умного учета [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nekta.tech/iot-solutions-for-smart-metering/> (дата обр. 12.02.2020).
2. Шубов Л.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. Актуальные вопросы ресурсосбережения// Экологические системы и приборы. 2016. № 9. С. 17-24

Сторожев Д.А., Харитонов В.А., Пудовкин А.П.

**АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ОЦЕНКИ
ОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ
ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ДИСПЕРСИИ
ОШИБОК ФИЛЬТРАЦИИ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗИНГЕРОВСКОЙ МОДЕЛИ
СОСТОЯНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ**

¹Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

***Аннотация:** в данной работе рассмотрено построение алгоритма формирования оценки оптимальной фильтрации по критерию минимума дисперсии ошибок фильтрации при использовании зингеровской модели состояния и наблюдения*

***Ключевые слова:** алгоритм, модель, состояние, оптимальная фильтрация.*

Оптимальная обработка информации методом оптимальной линейной фильтрации в РЭСС рассматривается на задаче определения фазовых координат ВС (дальность, угловые координаты) и параметров движения ВС (скорость, ускорение).

Целью работы является построение алгоритма формирования оценки оптимальной фильтрации по критерию минимума дисперсии ошибок фильтрации при использовании зингеровской модели состояния и наблюдения.

Задача работы – определить наилучшую оценку $\hat{x}(k+1)$ вектора состояния, удовлетворяющую определенному критерию качества.

Движение ВС задается в виде математической модели с помощью n -мерного вектора состояния $x(k)$ в некотором пространстве состояний

$$\mathbf{x}^T(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k)]. \quad (1)$$

Применительно к описанию параметров движения ВС вектор состояния будет иметь вид

$$\mathbf{x}^T(k) = [D(k), V(k), a(k), \varphi_{\Gamma}(k), \varphi_{\text{В}}(k), \omega_{\Gamma}(k), \omega_{\text{В}}(k)]. \quad (2)$$

Модели движения цели выбирается с учетом характера ее движения. В простейшем случае вектор скорости считается постоянным во времени т.е. ВС не маневрирует.

Наиболее сложными являются допущения, когда вектор скорости изменяется определенным образом с течением времени т.е. ВС маневри-

рует, или вектор скорости случайный (резкие торможения, тяга двигателя неравномерная и т.д.).

Векторно-матричное уравнение, описывающее модель движения ВС, которому удовлетворяет вектор состояния $x(k)$, в общем случае имеет вид

$$x(k+1) = \Phi(k+1, k)x(k) + \Gamma(k+1, k)\xi_x(k), \quad (3)$$

где $\Phi(k+1, k)$ – фундаментальная матрица размером $n \times n$, характеризующая связь между переменными состояниями $x_1(k) \dots x_n(k)$;

$\xi_x(k)$ – случайный вектор возмущений, представляющий собой дискретный белый шум с математическим ожиданием, равным нулю, и матрицей дисперсии ошибок возмущений $Q(k)$, который учитывает влияние случайных фактов на движение цели;

$\Gamma(k+1, k)$ – матрица возмущений, которая характеризует зависимости между переменными вектора состояния и компонентами вектора возмущений.

Измерительная система формирует измерения, совокупность которых образует m -мерный вектор измерений (наблюдений)

$$z_{in}^m(k) = [z_{1in}(k), z_{2in}(k), \dots, z_{min}(k)]. \quad (4)$$

Вектор наблюдений владеет полезной информацией о векторе состояния $x(k)$ и векторе ошибок измерений $\xi_{in}(k+1)$.

Вектор измерений $z_{in}(k+1)$ представлен уравнением

$$z_{in}(k+1) = H(k+1)x(k+1) + \xi_{in}(k+1), \quad (5)$$

где $H(k+1)$ – матрица измерений размерностью $(m \times n)$, которая связывает переменные состояния $x(k+1)$ и измерения $z_{in}(k+1)$;

$\xi_{in}(k+1)$ – вектор ошибок измерений, который представляет из себя вектор гауссовских белых шумов с математическим ожиданием $M\{\xi_{in}\} = 0$ и матрицей дисперсии ошибок измерений $R(k+1)$ [1].

Алгоритм линейной фильтрации формируется на основе информации о векторах состояния $x(k+1)$ – (3) и наблюдения $z_{in}(k)$ – (5). В этом случае получают оценку $\hat{x}(k+1)$ вектора состояния по заданному критерию качества, в частности, минимуму дисперсии ошибки фильтрации $M\{x(k+1)\} = M\{\hat{x}(k+1)\}$.

Результатом решения задачи оптимальной фильтрации (оптимального оценивания) является некий алгоритм, который позволяет связать вектор $\hat{x}(k+1)$ с вектором $x(k+1)$ с учетом условий (3) и (5).

Алгоритм формирования оценки которая оптимальна по критерию минимума дисперсии ошибок фильтрации с использованием модели состояния (3) и наблюдения (5) будет имеет вид [2]:

$$\hat{x}(k+1) = x_3(k+1) + K_\phi(k+1)[z_i(k+1) - H(k+1) \cdot x_3(k+1)]; \quad (6)$$

$$x_3(k+1) = \Phi(k+1, k) \cdot \hat{x}(k), \quad x_3(0) = \hat{x}(0); \quad (7)$$

$$P_3(k+1) = \Phi(k+1, k) \cdot P_0(k) \cdot \Phi^T(k+1, k) + Q_x(k); \quad (8)$$

$$K_\phi(k+1) = P_3(k+1) \cdot H^T(k+1) \cdot$$

$$\{H(k+1) \cdot P_3(k+1) \cdot H^T(k+1) \cdot R(k+1)\}^{-1}; \quad (9)$$

$$P_0(k+1) = P_3(k+1) - K_\phi(k+1)H(k+1)P_3(k+1), \quad (10)$$

где $x_3(k+1)$ – оценка прогноза или экстраполяция вектора состояния $x(k+1)$;

$K_\phi(k+1)$ – матрица оптимальных коэффициентов передачи дискретного фильтра с размерностью $(n \times m)$;

$P_3(k+1)$ – апостериорная ковариационная матрица ошибок фильтрации;

$P_0(k+1)$ – априорная ковариационная матрица ошибок фильтрации;

$R(k+1)$ – матрица дисперсий измерения;

$Q_x(k)$ – матрица дисперсий возмущений.

Таким образом, разработанный позволяет получить требуемые точностные характеристики оценки фазовых координат.

Работа выполнена частично при финансовой поддержки Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 14-08-00523

Список используемых источников

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 ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

Терехова А.А., Дмитриевский Б.С., Аль Кнфер С. Н. А., Аль Амиди М.А.Д.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ В ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

***Аннотация.** Рассмотрена информационная система технического учета электроэнергии, позволяющую планировать и контролировать затраты на энергоресурсы, принцип ее организации и преимущества использования.*

***Ключевые слова (на русском языке):** информационная система, учет электроэнергии, энергопотребление.*

На энергозависимых пищевых производствах для снижения удельного веса электроэнергии в себестоимости готовой продукции надо управлять энергопотреблением. На современном этапе для внутрипроизводственного учета энергоресурсов на предприятии необходимо использовать цифровые технологии, решающие задачи технического учёта и позволяющие планировать и контролировать затраты на энергоресурсы[1-2].

Основное назначение цифровых технологий состоит в определении подходов к построению автоматизированной информационно-управляющей системы предприятия как единого информационного пространства.

Объект управления - энергетический отдел. Он осуществляет единую техническую политику по всем вопросам производственной эксплуатации, технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования предприятия.

В ведении отдела и подчиненных ему подразделений находятся:

а) все заводские и цеховые энергоустройства: трансформаторы, преобразовательные установки, котельные установки, скважины, станции перекачки ливневых вод, компрессорные установки, очистные сооружения, кислородные и водородные станции, устройства связи, газовое оборудование;

б) магистральные сети и распределительные коммуникации: электросети, газопроводы, трубопроводы горячей воды, пара, сжатого воздуха, системы канализации и водоснабжения, вентиляции и отопления сети сигнализации и связи.

Учет электроэнергии необходим для определения количества электроэнергии: выработанной на электростанциях; потребленной на производство; отпущенной потребителям; приобретенной.

Организация учета электроэнергии должна предоставлять возможность: определения поступления электроэнергии в электрические сети различных классов напряжения энергосистем; составления балансов электроэнергии; контроля за соблюдением потребителями заданных им режимов потребления и балансов электроэнергии; управления электропотреблением.

Помимо учета электроэнергии в задачи разрабатываемой информационной системы входит учет энергооборудования. Целью учета энергооборудования является: получение оперативной информации о наличии и движении оборудования (установке, замене, ремонте), контроль использования (время работы, нагрузка и т.д.), регистрация простоев, регистрация неисправностей, отслеживание по времени оборудования, требующего ремонта согласно нормативно-техническим документам, выявление резерва мощностей, получения различных аналитических отчетов.

Информационная система учета электроэнергии и энергооборудования детализируется на три процесса: учет электроэнергии, учет электрооборудования и формирования отчетов (рис.1).

Входная информация – это первичная информация, поступающая в систему и являющаяся основой для работы.

Основной входной информацией, касающейся учета электроэнергии, являются показания специализированного оборудования – счетчиков электроэнергии, данные с которых поступают на главный щит управления (ГЩУ), а затем вводятся в систему сотрудником энергетического отдела. Данный показатель представляет собой объем (кв./ч) электроэнергии, произведенный, поставленный и потребленный за предшествующие сутки отдельно каждым источником и потребителем.

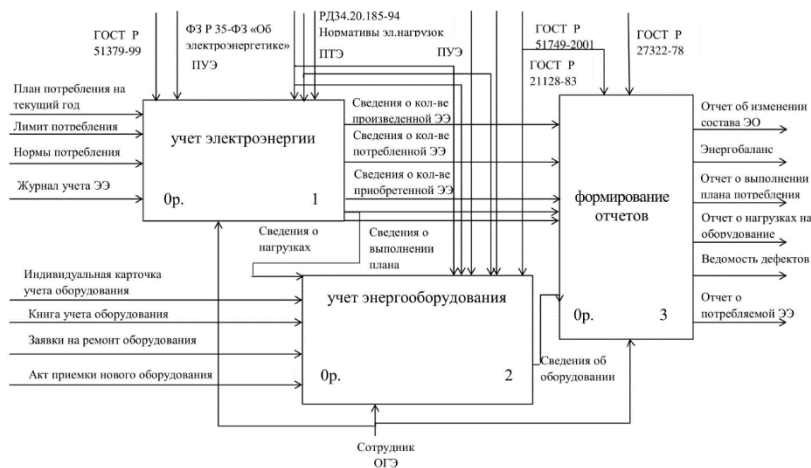


Рисунок 1. Учет электроэнергии и энергооборудования

Выходными документами являются:

– «Электробаланс» – позволяет выделить из общего расхода электроэнергии ее полезно израсходованную часть и потери, тем самым выявить КПД энергетического процесса, агрегата, цеха. Данный документ включает сведения о распределении электроэнергии за отчетный период.

– «Отчет о потребляемой электроэнергии» - необходим для текущего учета потребления электроэнергии, составляется за указанный диапазон времени (сутки, неделя и любое другое количество дней) и содержит сведения о потреблении электроэнергии на указанную дату всего или отдельно по каждому потребителю.

– «Отчет о нагрузках» - необходим для текущего учета электроэнергии, составляется промежуток времени, указанный пользователем (сутки, неделя, месяц и квартал). Содержит сведения о нагрузках на источники питания – нормативных и фактических; используется для контроля функционирования энергодобывающего оборудования.

– «Отчет о выполнении плана потребления» – необходим для составления плана потребления следующего производственного периода и корректировки текущего. Содержит информацию о фактическом и запланированном потреблении, а также величине отклонения по каждому потребителю. Отчетный период – месяц.

– «Отчет о выполнении плана производства» – необходим для составления плана производства электроэнергии на следующий производственный период и корректировки текущего. Содержит информацию о фактическом и запланированном производстве, а также величине отклонения по каждому источнику. Отчетный период – месяц.

– «Отчет об изменении состава оборудования» - содержит сведения об оборудовании: - принятом к эксплуатации, списанном, вновь установленном. Включает в себя следующие поля: инвентарный номер, наименование оборудования, единица измерения, количество, дата установки/списания, срок службы допустимый и фактический. Отчетный период определяется пользователем – квартал, год.

Благодаря внедрению описанной системы, у сотрудников энергетического отдела и руководства появится возможность владеть оперативной информацией о приобретении, производстве, распределении и потреблении электрической энергии на предприятии для решения основных технико-экономических задач: определения поступления электроэнергии в электрические сети различных классов напряжения энергосистем, составления балансов электроэнергии, контроля за соблюдением потребителями

заданных им режимов потребления и балансов электроэнергии и управления электропотреблением.

Список использованной литературы

1. Волчуков Н.П., Построение информационной системы контроля и учёта энергоресурсов промышленного предприятия в условиях энергорынка/ Н.П. Волчуков, Н.Н. Титов – М.: ЮНИТИ, 2004. – 248с.
2. Покатилов А.В. Этапы создания (модернизации) автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета субъектов оптового рынка электроэнергии/ А.В. Покатилов – М.: ЮНИТИ, 2002.- 134с.

Терехова А.А., Дмитриевский Б.С.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

***Аннотация.** Рассмотрена возможность применения методов компьютерного моделирования при проектировании электроэнергетических систем. Основные принципы и преимущества использования Model Based Systems Engineering при проектировании электроэнергетических систем*

***Ключевые слова (на русском языке):** проектирование, электроэнергетические системы, Model Based Systems Engineering, автоматизация.*

Автоматизация технологических процессов сегодня актуальна в любой сфере промышленности, будь то машиностроение или металлообработка, пищевое производство или нефтедобыча, строительство или радиотехника. Не исключением является и электроэнергетика.

Ключевой целью в стратегии большинства компаний в структуре распределительного энергосетевого комплекса является переход к полной автоматизации технологических процессов. В электроэнергетической системе уже стали реальными такие понятия как «цифровые сети» и «цифровая подстанция», но развитие данных технологий основано на накоплении и передаче достаточно большого объема данных, что, в свою очередь, требует новых решений, которые находятся на стыке нескольких отраслей: электроэнергетики, автоматизации и инфотелекоммуникационных технологий. Такие тенденции в современной электроэнергетической системе наиболее актуальны.

Стремление минимизировать «человеческий фактор» в электроэнергетике обусловлено тем, что 95% аварийных ситуаций в данной отрасли происходит именно по вине человека. Именно поэтому существует необходимость внедрения современных передовых технологий в работу организаций, занимающихся эксплуатацией электроэнергетических объектов. Кроме того, системы автоматизации технологических процессов целесообразно внедрять и на этапе проектирования объектов электроэнергетической системы.

Уже начиная со стадии проектирования электроэнергетических систем и заканчивая их дальнейшей эксплуатацией и обслуживанием возможно применение различных методов компьютерного моделирования.

Например, Model Based Systems Engineering (MBSE) – методологию, рассматривающую развитие различных взаимосвязанных моделей, используемых для определения и разработки единой конечной системы. В данной системе моделирования предлагаются наиболее эффективные получения данных системы, их своевременного обновления и предоставления информации о них заинтересованным лицам. При этом значительно сокращается необходимость в использовании традиционной документации.

В системе MBSE возможна поддержка одновременного использования множества методов описания, актуальных для соответствующих заинтересованных лиц. Результатом применения системы MBSE является модель системы, обеспечивающая интеграцию отдельных ее компонентов.

Также в системе MBSE можно выделить следующие преимущества:

- *точность модели электроэнергетической системы;*
- *возможность рассматривать представленную систему с разных точек зрения и уровней представления;*
- *возможность анализа влияния изменений на элементы электроэнергетической системы;*
- *упрощение взаимодействия между элементами электроэнергетической системы;*
- *учет технологических особенностей функционирования элементов электроэнергетической системы;*
- *упрощенный сбор и структуризация информации как об элементах электроэнергетической системы, так и о системе в целом;*
- *повышение надежности системы передачи данных;*
- *сокращение цикла и, соответственно, затрат на техническое обслуживание электроэнергетической системы.*

Говоря об автоматизации в электроэнергетической системе, следует отметить, что наиболее важным аспектом в данном случае является повышение надежности и энергоэффективности ее работы. Наиболее важным составляющим элементов автоматизации электроэнергетической системы является оптимизация режимов работы ее ключевых элементов – генерирующего оборудования и линий электропередачи (ЛЭП). Повышение надежности, в данном случае, достигается за счет внедрения системы своевременных методов мониторинга технического состояния оборудования, совершенствования технологий ремонта и технического обслуживания элементов электроэнергетической системы. Как показывает практика, особое внимание при этом уделяется автоматизированным системам за-

щиты силовых трансформаторов, выключателей подстанций, системам измерения и мониторинга.

Отраслевой особенностью автоматизации в электроэнергетике можно считать высокую скорость протекания переходных и аварийных процессов, которые затрагивают одновременно большое количество элементов электроэнергетической системы, что требует высокого уровня быстродействия и производительности системы автоматизации, а также специфических способов обработки и конечной визуализации больших массивов информации. Кроме того, следует учесть повышенные требования к системам передачи данных, так как электроэнергетическая система распределена на значительной территории.

Внедрение средств автоматизации на энергетическом предприятии позволит решить следующие задачи:

- 1) повышение надежности и снижение влияния, так называемого, «человеческого фактора» при принятии решений;
- 2) повышение точности диагностики работы оборудования, основанной на данных его использования и режимах работы;
- 3) повышение защиты электроэнергетической системы от перегрузок, скачков напряжения и коротких замыканий различных видов;
- 4) обеспечение нормального уровня напряжения и бесперебойного питания потребителей различных категорий надежности;
- 5) предотвращение, локализация и минимизация последствий аварий;
- 6) автоматизация учета энергопотребления;
- 7) повышение безопасности и улучшение условий труда персонала;
- 8) снижение энергетических потерь;
- 9) увеличение сроков эксплуатации основного оборудования.

Кроме того, при внедрении устройств автоматизации в работу электроэнергетической системы решается задача повышения устойчивости работы генерирующего оборудования, статической и динамической устойчивости энергосистемы. Для решения таких задач целесообразно применять микропроцессорные устройства, работа которых направлена на повышение быстродействия устройств релейной защиты распределительных устройств, а также оптимизацию архитектуры построения комплексов релейной защиты. Еще одной составляющей решения стоящей задачи можно считать создание экспертных диагностических систем, формирующих экспертную оценку состояния оборудования электроэнергетической системы с последующим прогнозированием сроков его отказов и последующим формированием команд изменения режима работы.

Список используемых источников

1. Агафонов, Н. А. Особенности и проблемы проектирования микропроцессорных систем управления, автоматики и защиты электроэнергетических систем / Н. А. Агафонов, А. И. Агафонов, Т. Ю. Бростилова, К. О. Кильдюшкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2019. – № 3 (51). – С. 69–78. – DOI 10.21685/2072-3059-2019-3-6.
2. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации». С изменениями и дополнениями от 16 декабря 2015 г. – Москва, 2015.

Тымчук Т.М., Венцеровва Н.В.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ТОМОГРАФА ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА

Тамбовский государственный технический университет (г.Тамбов)

Аннотация: в данной работы рассмотрена оценка технического состояния аппарата оптической томографии по характеристикам цифровой модели объекта, включающие наличие и отсутствие артефактов, пространственное и поперечное разрешение, контраст.

Ключевые слова: оптическая томография, разрешение, техническое состояние, контраст.

К одним из методов неинвазивного изучения внутренних структур относится оптическая томография. Оптическая томография— это форма компьютерной томографии, которая создает цифровую модель объекта путем восстановления изображения, созданного из света, переданного и рассеянного через объект, и предоставляет возможность наблюдения за биологическими объектами с высоким разрешением в режиме реального времени.

Характеристиками диагностических изображений являются: пространственное разрешение, поперечное разрешение, контраст, а также наличие или отсутствие артефактов. Пространственное разрешение (продольное) – разрешение по глубине (Рисунок 1), обратно пропорционально отношению длины когерентности источника излучения к его ширине спектра. Продольное разрешение характеризуется величиной пикселей изображения в пространственных единицах и описывает размеры объекта на изображении.



Рисунок 1 – Пространственное разрешение

Продольное разрешение ОКТ-системы составляет 1 – 15 мкм. Одномерный А-скан строится на основе последовательно принятых значений сигналов. С помощью устройства зонда оптический пучок передвига-

ется в боковом направлении по поверхности ткани, получая профиль по глубине в каждом боковом положении, то есть двумерный В-скан.

Второй характеристикой для оценки цифровой модели объекта является поперечное (боковое) разрешение. Оно определяется пространственной величиной (размером) оптического пучка (Рисунок 2). Боковое разрешение составляет от 1 до 20 мкм.

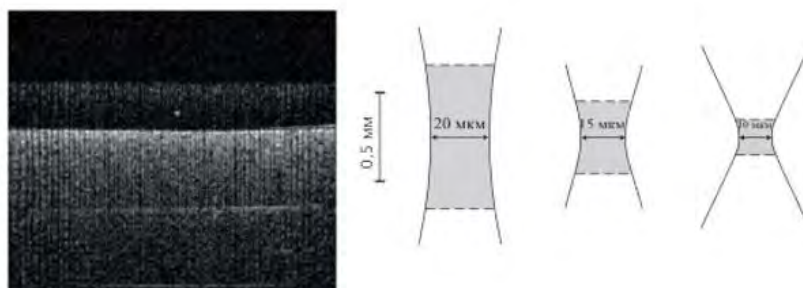


Рисунок 2 – Поперечное разрешение

При объединении двух сканирований (бокового и по глубине) можно получить двумерное изображение, которое в дальнейшем можно полностью идентифицировать. Поэтому пространственное разрешение является одной из технических характеристик ОКТ-системы, которую необходимо проверять на соответствие заданным параметрам прибора.

Третьей характеристикой является контраст между различными структурами тканей, который возникает из-за различных рассеивающих свойств ее элементов. Формирование контрастных ОКТ-изображений здоровых покровных тканей, такие как кожа или слизистые оболочки, с помощью метода ОКТ связано с морфологическим строением тканей.

Последней характеристикой для оценки технического состояния оптического томографа является наличие или отсутствие артефактов. Артефакты представляют собой появление образований на изображениях, которые не соответствуют структуре объекта. Артефакты могут появиться на изображение при неправильной настройке положения верхней границы изображения на экране монитора, при нарушении контакта торцевого окна зонда, при смещении поверхности зонда и исследуемого объекта относительно друг друга, а также при загрязнении торцевого окна зонда.

Для получения качественного изображения необходимо установить причину артефактов и повторить исследование. Наиболее часто встречаемые артефакты, которые могут допустить ошибки в трактовке изображений: положение верхней границы не фиксировано с отступом равным 1/6-1/7 общей высоты кадра, загрязнение торцевого окна зонда или поверхности объекта, смещение зонда, плохой контакт зонда с объектом.

Алгоритм оценки цифровой модели объекта:

– Оценка качества изображения.

- Описание признаков изображения.
- Интерпретация этих признаков.

Во время получения цифровой модели объекта проводится оценка пригодности изображения к дальнейшему исследованию, то есть оценивается наличие верхней границы изображения, а также отсутствие артефактов.

Далее необходима интерпретация цифровой модели объекта, которая покажет соответствует ли аппарат заданным характеристикам, а также даст сведения о его техническом состоянии.

Если видны слои объекта: горизонтально ориентированные зоны с однородным сигналом, имеющие четкие, контрастные границы с соседними зонами, интенсивность сигнала в которых различна. Слои можно охарактеризовать по таким параметрам, как уровень сигнала в слое, толщина слоя. На основе идентификации изображения можно сделать выводы о структурности (бесструктурности) изображения, сохранения (нарушении) упорядочности элементов, контрасте слоев и четких границ. В этом случае можно говорить о правильной работе ОКТ-системы. В иных исходах необходимо повторно провести эксперимент и, если исследование дало такие же результаты, можно сделать вывод о техническом состоянии аппарата и о нарушении его параметров.

Правильная работа оптических томографов необходима для качественной диагностики пациентов и разработки новых методов исследований, поэтому контроль технического состояния аппарата очень важен, для этого может использоваться интерпретация получаемых цифровых моделей объектов в режиме реального времени.

Список используемых источников

1. Bezerra H.G. Intracoronary Optical Coherence Tomography: A Comprehensive Review/Bezerra H. G., Costa M.A., Guagliumi G. // JACC: Cardiovascular Interventions – 2009. – P. 1035–1046.
2. Гуров И.П. Оптическая когерентная томография: принципы, проблемы и перспективы / Гуров И.П. // Проблемы когерентной и нелинейной оптики – СПб – 2004. – С. 6–30.
3. Тучин В.В. Оптическая биомедицинская диагностика / Тучин В.В. // Известия Саратовского университета. – 2005. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 39 – 53.
4. Щуко А.Г. Оптическая когерентная томография в диагностике глазных болезней/ Щуко А.Г., Малышева В.В. // ГЭОТАР-Медиа.– М. – 2010. – С.128.

Удалова А.П., Чернышов В.Н., Чернышов А.В.

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
АДАПТИВНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

¹Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Аннотация (на русском языке): Предложена микропроцессорная информационно-измерительная система, реализующая адаптивный метод неразрушающего контроля теплофизических характеристик (тепло- и температуропроводности) строительных материалов и изделий.

Ключевые слова (на русском языке): информационно-измерительная система, неразрушающий контроль, теплофизические характеристики.

Известные способы контроля теплофизических характеристик (ТФХ) строительных материалов [1-3] обладают рядом недостатков, таких как необходимость в разрушении готового изделия с целью изготовления образцов исследуемых материалов, а также малая точность определения ТФХ. Для устранения этих недостатков был предложен микроволновый адаптивный метод неразрушающего контроля ТФХ строительных материалов и готовых изделий.

В данной статье предлагается информационно-измерительная система (ИИС) неразрушающего контроля ТФХ строительных материалов и изделий, реализующая следующий метод.

Метод предусматривает нагрев исследуемого объекта импульсом СВЧ-излучения, сфокусированным в линию заданных размеров линзой из радиопрозрачного диэлектрического материала. В начале на поверхность исследуемого объекта воздействуют одиночным тепловым импульсом мощностью, задаваемой интервалом времени подачи электромагнитного поля СВЧ-диапазона с частотой не менее 20 ГГц [4, 5]. Затем определяют интервал времени релаксации от начала теплового воздействия до момента времени, когда температура в точке контроля на поверхности исследуемого изделия на расстоянии x_1 от линии теплового воздействия станет равной первоначальной температуре, после чего определяют минимальную частоту подачи импульсов СВЧ-излучения на исследуемый объект. Далее воздействуют на исследуемый объект импульсами заданной мощ-

ности, увеличивая частоту их подачи до тех пор, пока установившееся значение контролируемой температуры в точке x_1 станет равным наперед заданному значению. Определяют при этом частоту следования тепловых импульсов и измеряют при этом установившуюся избыточную температуру в точке контроля на поверхности исследуемого объекта на расстоянии x_2 от линейного источника, а искомые ТФХ определяют по полученным математическим соотношениям [6].

Для реализации описанного метода была разработана микропроцессорная ИИС (рис.1).

Для проведения микроволнового воздействия на исследуемый образец 1 электромагнитное излучение СВЧ-генератора 2 диэлектрической линзовой антенны 3 фокусируют в линию 4 заданных размеров. Нагрев исследуемого объекта 1 осуществляют импульсным воздействием высокочастотного электромагнитного поля по линии 4 от излучающей антенны 5 с вмонтированной в неё линзой 3 и соединенной с СВЧ-генератором 2. После микроволнового воздействия осуществляют контроль избыточных температур на теплоизолированной от окружающей среды поверхности исследуемого объекта в двух точках, находящихся соответственно на расстояниях x_1 и x_2 от линии электромагнитного воздействия, бесконтактными первичными измерительными преобразователями (ПИП) инфракрасного диапазона 6, сфокусированными на поверхность исследуемого объекта, которые через коммутатор 7, нормирующий прецизионный усилитель 8 и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 9 подключают к микропроцессору 10. В эксперименте расстояния x_1 и x_2 берутся обычно равными 2 и 5 мм соответственно. Микропроцессор 10 соединен через порт ввода-вывода 11 с СВЧ-генератором 5 и коммутатором 7, который осуществляет подключение ПИП в соответствии с алгоритмом, построенным на основе процедур предложенного метода. Данные эксперимента выводятся на индикатор 12. Используя полученную в ходе теплофизического эксперимента измерительную информацию, в микропроцессоре 10 искомые теплофизические характеристики рассчитываются по алгоритмам, построенным на основании аналитических соотношений (12) и (13), описывающих тепловые процессы в исследуемом полуограниченном в тепловом отношении объекте.

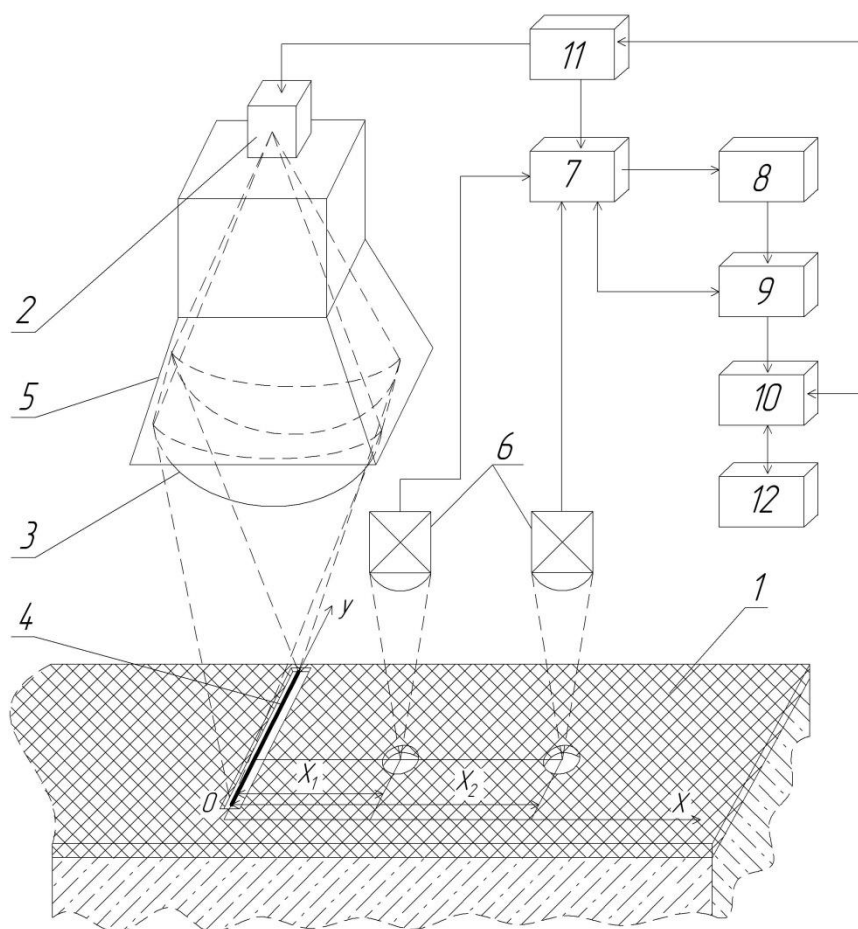


Рисунок 1 – Схема микропроцессорной ИИС, реализующей адаптивный метод неразрушающего контроля ТФХ строительных материалов и изделий

Экспериментальная проверка показала работоспособность предложенной ИИС системы, реализующей адаптивный метод неразрушающего контроля ТФХ строительных материалов и изделий, и достаточную для технологического контроля точность определения ТФХ исследуемых строительных материалов. Информация в разработанной микропроцессорной ИИС снимается в частотно-импульсной форме, тогда как в известных методах – в аналоговой форме, что, во-первых, позволяет легко преобразовать измерительную информацию в цифровую форму, во-вторых, существенно уменьшает долю случайной составляющей общей погрешности измерений за счет снижения воздействия на информативный параметр случайных помех. Кроме того, адаптивный поиск оптимального теплового воздействия позволяет осуществлять нагрев исследуемых объектов до заранее заданной температуры, меньшей температуры термодеструкции исследуемых материалов, что гарантирует сохранение целостности исследуемых объектов.

Данная статья выполнена в рамках гранта № 09-08-01166-а

Список используемых источников

1. Пат. № 2250454 РФ, МПК G 01 N 25/18. Способ неразрушающего контроля теплофизических характеристик твердых материалов [Текст] / Фокин В.Н., Чернышов В.Н., Бойков Г.П.; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ). – № 2004111223/28; заявл. 12.04.2004; опубл. 20.04.2005 Бюл. № 11.
2. Пат. № 2399911 РФ, МПК G 01 N 25/18. Способ определения теплофизических характеристик строительных материалов (варианты) [Текст] / Чернышов В.Н., Голиков Д.О., Чернышов А.В.; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ). – № 2008145926/28; заявл. 20.11.2008; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26.
3. Чернышов А.В., Иванов Г.Н. Метод неразрушающего контроля теплофизических свойств многослойных теплозащитных покрытий и изделий [Текст] / Контроль. Диагностика. – 2007. – № 6 (108). – С. 50-54.4.
4. Пюшнер Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот [Текст] / Г. Пюшнер // – М.: Энергия. – 1968. – 312 с.
5. Клюев В.В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий [Текст]. Справочник / под ред. Клюева В.В. – М.: Машиностроение. – 1976. – Т. 2. – 182 с.
6. Чернышов В.Н., Чернышова Т.И. Методы и информационно-измерительные системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий [Текст]: Монография. / В.Н. Чернышов, Т.И. Чернышова // Спб: «Экспертные решения». – 2016. – 384 с.

Фролов С.В., Потлов А.Ю., Фролова Т.А.

ЦВЕТОВОЕ ДОПЛЕРОВСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ КРОВОТОКА В СОСУДАХ СЕТЧАТКИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Тамбовский государственный технический университет (г.Тамбов)

***Аннотация:** подтверждена гипотеза о целесообразности OSV-картирования в задачах диагностики офтальмологических заболеваний на основе авторских методов картирования одной выбранной скорости.*

***Ключевые слова:** оптическая когерентная томография (ОКТ), цветное доплеровское картирование, фантом сетчатки глаза.*

Классический подход к цветовому доплеровскому картированию в ОКТ предполагает оценку скоростей всех потоков биологических жидкостей в сканируемом участке/наборе плоскостей/секторе исследуемого биообъекта с последующей их визуализацией [1-4]. Градациями красного цвета обычно кодируют потоки направленные к датчику, градациями синего – от датчика. Чем темнее градация синего или красного тем выше скорость соответствующего потока. Структурное изображение обычно используют как подложку для цветовой доплеровской картограммы и поэтому выводят в градациях серого. Такой подход удобен и информативен, однако в отдельных ситуациях может возникнуть необходимость картирования не всего набора скоростей, а только отдельного(-их) диапазонов. Например, врач оценивает лимфоток в области отека. Та же область может содержать десятки мелких кровеносных сосудов. Даже при соизмеримых размерах сосудов скорость движения лимфы, как правило в разы ниже скорости движения крови. Какими бы точными ни были настройки полосовых фильтров, пороговые ограничения, морфологические операции и т.п. все же с шумами удаляется часть полезной информации. Потоки крови в кровеносных сосудах области отека будут создавать значительные флуктуации спекл-структуры, доплеровские и фазовые сдвиги, в которых не слишком сильный полезный сигнал от потока лимфы может «потеряться». Ведь алгоритм и программный продукт как правило настроены на средние диапазоны скоростей, а значит могут искажать информацию о слишком медленных потоках. При OSV картировании поиск заданного пользователем диапазона искомых скоростей производится на

аппаратном и программном уровнях. Искажения для искомого диапазона и связанных с ним характеристик сигнала будут минимальными.

Анализ авторитетных медицинских справочных изданий по офтальмологии, а также консультации с врачами Тамбовского филиала МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова показали, что диапазоны скоростей кровотока в сосудах сетчатки глаза и зрительного нерва в норме и при различных сосудистых патологиях хорошо известны. Например, при незрелой осложнённой катаракте максимальная линейная скорость кровотока в центральной артерии сетчатки составляет 63.3 ± 23.9 мм/с, а при норме 150.9 ± 25.5 мм/с. Тем не менее подобная, безусловно полезная справочная информация, далеко не всегда используется в реальной клинической практике в следствии сложности интервальной интерпретации цветовых доплеровских картограмм. Что служит дополнительным аргументом в пользу использования режима OSV-картирования.

Обобщая вышесказанное, оценочные расчеты возможных искажений в полезном сигнале (достоверность детектирования различных скоростей в пределах динамического диапазона используемого прибора не одинакова, а как правило максимальна у центра диапазона и спадает к его границам) и консультации с офтальмологами показали целесообразность OSV-картирования. В связи с этим был разработан и протестирован на фантомах сетчатки глаза следующий алгоритм.

- 1) Задаются величины управляющих параметров.
- 2) Исследуемый биомедицинский объект сканируется методом классической ОКТ с получением первого набора интерференционных сигналов.
- 3) Первый набор интерференционных сигналов очищается от помех. На его основе формируется структурное изображение исследуемого объекта. Это изображение дополнительно очищается и конвертируется в градации серого (подложка для OSV-картограммы).
- 4) Производится вычисление верхней и нижней границ интервала искомого скоростей. Аппаратные фильтры ОКТ-системы перенастраиваются таким образом, чтобы соответствовать искомому интервалу скоростей с учетом их знака.
- 5) Исследуемый биомедицинский объект повторно сканируется методом классической ОКТ с получением дополнительного, второго набора интерференционных сигналов.
- 6) Второй набор интерференционных сигналов предварительно делится на нечетные и четные А-сканы. На их основе строятся два «псевдо-структурных» изображения, соответствующих положительному и отрица-

тельному сдвигу несущей частоты. Эти изображения очищаются от помех (пороговое ограничение, морфологическая обработка и т.п.).

7) Производится поэлементное вычитание со сдвигом на один А-скан изображения на основе нечетных А-сканов из изображения на основе четных.

8) С помощью логического анализа (на основе функции Хэвисайда) полученных результатов формируются функции, характеризующие положительно и отрицательно направленные потоки биологических жидкостей.

9) Посредством объединения и кодирования функций формируется картограмма потоков биологических жидкостей.

10) Структурное изображение в градациях серого и картограмма потоков биологических жидкостей объединяются в OSV-картограмму.

Вышеописанный подход был практически реализован с помощью среды LabVIEW. Программа предназначена для функциональной визуализации в медицинских приложениях ОКТ во временной и частотной области. Построение цветowych доплеровских картограмм реализовано без использования дополнительных многочастотных датчиков. В качестве единственного источника полезного сигнала использованы результаты многократного ОКТ-сканирования исследуемой мягкой биологической ткани через небольшие интервалы времени. Для повышения точности картирования кровотока в сосудах сетчатки и зрительного нерва используется многоступенчатый подход. На первом этапе местоположения внутренних просветов кровеносных сосудов идентифицируются посредством оценки дисперсии спеклов в пределах одного структурного ОКТ-изображения. На основании сведений о предполагаемом местоположении кровеносных сосудов производится анализ фазовых сдвигов в интерференционном сигнале и повторная оценка дисперсии спеклов, но уже в пределах всей последовательности структурных ОКТ-изображений. Полученные результаты о местоположении, направлениях и скоростях кровотока усредняются и преобразуются в цветовую доплеровскую картограмму. Программа может быть использована в офтальмологических диагностических исследованиях, а также в биофизических экспериментах по изучению потоков биологических жидкостей со сложной структурной сквозь плоскость ОКТ-сканирования.

Серия компьютерных экспериментов по OSV-картированию показала работоспособность приложенного алгоритма и разработанного программного продукта. На основании теоретических результатов, экспертных мнений из Тамбовского филиала МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова и экспериментальных данных авторы ис-

следования считают гипотезу о целесообразности OSV-картирования в задачах диагностики офтальмологических заболеваний подтвержденной.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-01-00786 А).

Список используемых источников

1. Potlov A.Yu., Frolov S.V., Proskurin S.G. Color mapping of one specific velocity of a biological fluid flows with complex geometry using optical coherence tomography // Optical Technologies in Biophysics and Medicine XIX - Proceedings of SPIE.– 2018.– Vol. 10716, art. No. 107160A.
2. Proskurin S.G., Potlov A.Yu., Frolov S.V. One specific velocity color mapping using optical coherence tomography // Journal of Biomedical Optics. – 2015. – Vol. 20(5), – art. No. 051034.
3. Proskurin S.G., Potlov A.Yu., Frolov S.V. Doppler mapping of an alternating-sign flow with a complex structure using optical coherence tomography // Quantum Electronics. – 2014. – Vol. 44 (1), – pp. 54–58.
4. Proskurin S.G., Frolov S.V., Visualization of blood vessels by means of optical coherence tomography // Biomedical Engineering. – 2012. – Vol. 46(3), – pp.96-99.

Хворов Р.А., Безрядин В.А., Ряхов Б.Т.

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМАХ В УСЛОВИЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ**

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

***Аннотация:** В данной работе рассматриваются подход к моделированию информационных процессов в информационно-телекоммуникационных системах в условиях обеспечения безопасности информации.*

***Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационные системы, ориентированный граф, угрозы безопасности информации.*

Формирование математического (формализованного) описания информационных процессов в информационно-телекоммуникационных системах (ИТКС) в условиях обеспечения безопасности информации сопряжено с необходимостью учета ряда особенностей, к числу которых относятся:

- стохастичность информационных процессов в ИТКС, обусловленная случайными длительностями времен выполнения функций обработки информации;
- стохастичность воздействия угроз информационной безопасности;
- стохастичность процессов защиты информации, обусловленная случайными длительностями времен реализации функций защиты.

С целью формализации функционального описания исследуемых процессов условно определим функцию любого уровня иерархии такого описания, как процедуру.

Множество \wp процедур обработки и защиты информации в ИТКС представим в виде:

$$\wp = \{\rho_i = \langle I_i, \Phi_i, B_i \rangle \mid \rho_i \in \wp_i, i = 1, 2, \dots, |\wp|\},$$

где ρ_i – i -я процедура обработки (защиты) информации; I_i – идентификатор процедуры ρ_i ; $\Phi_i = \{\phi_{i,j}\}$ – структурированное множество функций, реализующих процедуру ρ_i ; B_i – временная характеристика процедуры ρ_i , представляемая в виде:

$$B_i = \langle \vartheta_i^{(3)}, \vartheta_i^{(c)}, \vartheta_i^{(o)}, \vartheta_i^{(мин)}, \vartheta_i^{(макс)} \rangle, \quad (1)$$

где $\vartheta_i^{(3)}$, $\vartheta_i^{(c)}$, $\vartheta_i^{(o)}$, $\vartheta_i^{(мин)}$, $\vartheta_i^{(макс)}$ – характеристики случайного времени реализации процедуры: $\vartheta_i^{(3)}$ – условное обозначение закона распределения (равномерный, усеченный экспоненциальный, усеченный нормальный); $\vartheta_i^{(c)}$ – среднее значение; $\vartheta_i^{(o)}$ – среднеквадратичное отклонение; $\vartheta_i^{(мин)}$ – минимальное значение; $\vartheta_i^{(макс)}$ – максимальное значение.

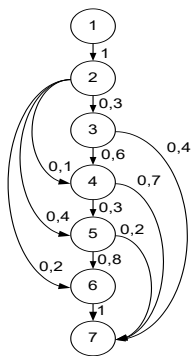
Определим на квадрате $\wp \times \wp$ множества \wp процедур ρ_i , $i = 1, 2, \dots, |\wp| - 1$, отношение порядка их выполнения и опишем его списком вида:

$$s_i^{(n)} = \langle M_i, l_1, p_{il_1}^{(n)}, l_2, p_{il_2}^{(n)}, \dots, l_M, p_{il_M}^{(n)} \rangle, \quad (2)$$

где M_i – число процедур, которые могут быть выполнены после i -ой процедуры; l_m – номер процедуры, выполняемой после i -ой процедуры, $m = 1, 2, \dots, M_i$; $p_{il_m}^{(n)}$ – вероятность перехода на данную процедуру.

Список формируется по убыванию значений вероятностей перехода.

Ниже приводится множество списков, описывающих, приведенный в качестве примера на рисунке 1, порядок следования процедур.



$$\begin{aligned} s_1^{(n)} &= \langle 1, 2, 1 \rangle, s_2^{(n)} = \langle 4, 5, 0, 4, 3, 0, 3, 6, 0, 2, 4, 0, 1 \rangle, \\ s_3^{(n)} &= \langle 2, 4, 0, 6, 7, 0, 4 \rangle, s_4^{(n)} = \langle 2, 7, 0, 7, 5, 0, 3 \rangle, \\ s_5^{(n)} &= \langle 2, 6, 0, 8, 7, 0, 2 \rangle, s_6^{(n)} = \langle 1, 7, 1 \rangle. \end{aligned}$$

Рисунок 1 – Вариант представления порядка следования процедур

Геометрическим изображением отношений порядка выполнения процедур является ориентированный граф вида [1]:

$$G = G(\wp, S^{(n)}), \quad (3)$$

множество вершин, которого совпадают с исходным множеством \wp процедур, а множество дуг – с множеством $S^{(n)} = \{s_i^{(n)}\}$ отношений между ними.

Аналогичным образом определим на квадрате $\Phi_i \times \Phi_i$ множества Φ_i функций ϕ_{ij} , $i = 1, 2, \dots, |\wp|$, $j = 1, 2, \dots, |\Phi_i| - 1$, составляющих процедуру ρ_i отношение порядка их выполнения и опишем списком вида:

$$s_{ij}^{(\phi)} = \langle N_{ij}, k_{i1}, p_{ijk_{i1}}^{(\phi)}, k_{i2}, p_{ijk_{i2}}^{(\phi)}, \dots, k_{ijN_{ij}}, p_{ijk_{jn}}^{(\phi)} \rangle, \quad (4)$$

где N_{ij} – число функций, которые могут быть выполнены после j -ой функции; k_{in} – номер функции, выполняемой после j -ой функции, $n = 1, 2, \dots, N_{ij}$; $p_{ij k_{in}}^{(\phi)}$ – вероятность перехода на данную функцию.

Как и в предыдущем случае, геометрическим изображением отношений порядка выполнения функций является ориентированный граф вида [2]:

$$g = g(\Phi_i, S_i^{(\phi)}), \quad (5)$$

множество вершин и дуг которого совпадают с исходным множеством Φ_i функций и отношений $S_i^{(\phi)} = \{s_{ij}^{(\phi)}\}$ между ними, соответственно.

По аналогии с (1) представим временные характеристики функции $\phi_{i,j}$ в виде:

$$\Omega_{i,j} = \langle \omega_{i,j}^{(3)}, \omega_{i,j}^{(c)}, \omega_{i,j}^{(o)}, \omega_{i,j}^{(мин)}, \omega_{i,j}^{(макс)} \rangle, \quad (6)$$

где $\omega_{i,j}^{(3)}$, $\omega_{i,j}^{(c)}$, $\omega_{i,j}^{(o)}$, $\omega_{i,j}^{(мин)}$, $\omega_{i,j}^{(макс)}$ – характеристики случайного времени реализации функции: $\omega_{i,j}^{(3)}$ – условное обозначение закона распределения (равномерный, усеченный экспоненциальный, усеченный нормальный); $\omega_{i,j}^{(c)}$ – среднее значение; $\omega_{i,j}^{(o)}$ – среднеквадратичное отклонение; $\omega_{i,j}^{(мин)}$ – минимальное значение; $\omega_{i,j}^{(макс)}$ – максимальное значение.

Вариант реализации представленного формализованного описания информационных процессов может быть реализован в виде программы для ЭВМ [3], показанной на рисунке 2.

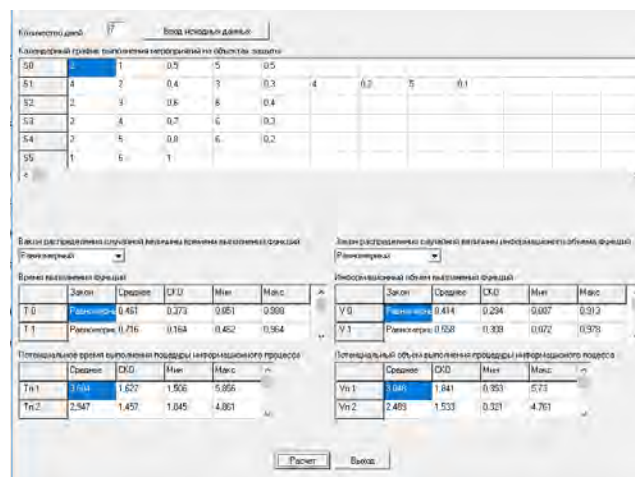


Рисунок 2 – Окно программы моделирования

Таким образом, представление информационного процесса как процесса реализации процедур и функций обработки и защиты информации в

виде (1) – (6) является его формализованным описанием и может служить основой для разработки и исследования соответствующих математических моделей.

Список использованной литературы

1. Хворов Р.А. Моделирование информационных процессов в информационно-телекоммуникационной системе в условиях обеспечения безопасности информации / Международная научно-практическая конференция «Охрана, безопасность, связь – 2016», 24 ноября 2016 г. Воронеж: ВИ МВД России, 2016. С.124-128.
2. Татт У. Теория графов: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 424 с.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615552 от 28.05.2014 г.

ВЛИЯНИЕ МНОГОЛУЧЕВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ НА СИСТЕМУ КОНТРОЛЯ ЗА ДВИЖЕНИЕМ АВТОМОБИЛЕЙ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Аннотация. В процессе слежения за угловым положением транспортного средства на дороге, можно оценить, насколько опасно поведение водителя данного транспортного средства. В статье оценены способы фильтрации цифрового сигнала, полученного на выходе системы фазового измерителя угловых координат. Проведен анализ влияния многолучевого распространения на ее точность.

Ключевые слова: контроль, распространение, точность, фаза, многолучевость.

Система контроля за движением транспортных средств (ТС) должна оценивать координаты ТС и поведение водителя на проезжей части. Так как предлагаемая система базируется на фазовом методе измерения угловых координат, то по сути своей она является импульсной радарной системой с выходом в виде фазового детектора.

Целью данной работы является исследование эффективности системы контроля за движением ТС, а так же влияние многолучевого распространения радиоволн на величину погрешности измерения угла.

Угловой пеленг автомобиля – главная характеристика, с помощью которой определяется поведение ТС [1]. Получение данной характеристики возможно с помощью импульсной радарной системы. Обработка полученных сигналов возможна благодаря фазовому методу измерения угловых координат. Фазовый метод подразумевает наличие измерителя, имеющего две приемопередающие антенны, два приемника, передатчик, фазовый детектор и сглаживающий фильтр.

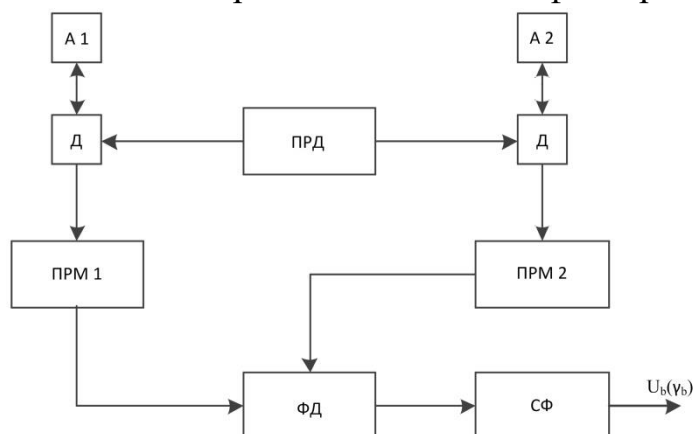


Рис. 1. Структурная схема системы

Структурная схема такой системы в общем виде представлена на рисунке 1. Многолучевое распространение (МР) наблюдается чаще всего в городских условиях, когда на антенну приёмника приходят не только прямые лучи, но и отражённые, искажающие принимаемый радиосигнал. Данная проблема актуальна не только для принимающей сигнал антенны системы контроля, но и для приемопередатчика, установленного на ТС. Сам по себе приемопередатчик аналогичен автомобильному транспондеру, который используется повсеместно для оплаты проезда по платным магистралям. Транспондер – устройство, осуществляющее прием-передачу радиосигнала – имеет небольшие габариты [2].

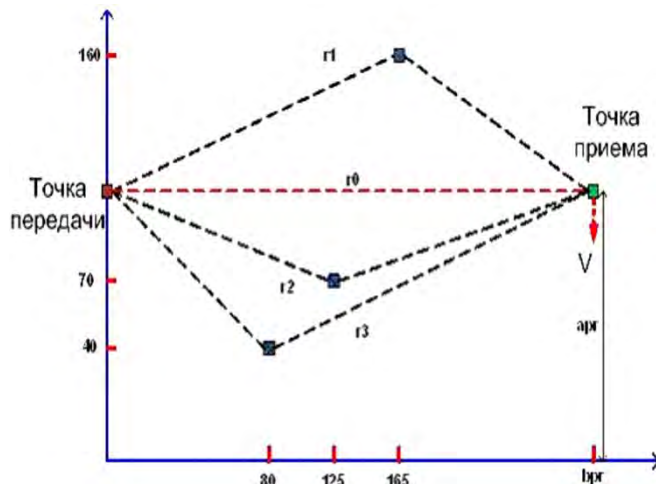


Рис. 2. Ошибка измерения угла

На рисунке 2 схематично изображены пути радиоволн, отражающихся от объектов, расположенных в зоне действия системы. Как видно из рисунка, на автомобиль, движущийся по проезжей части поступает не только прямой сигнал, но и сигналы с задержкой. Далее сигнал принимается транспондером, установленным в автомобиле, и ответный сигнал передается обратно на антенны системы контроля.

Приведенная ниже формула представляет суммарную амплитуду сигналов на входе приемника системы контроля с учетом многолучевого распространения в соответствии с рисунком 2.

$$S = A_0 + A_1 \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{D \cdot r_1}{\lambda}\right) + A_2 \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{D \cdot r_2}{\lambda}\right) + A_3 \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{D \cdot r_3}{\lambda}\right).$$

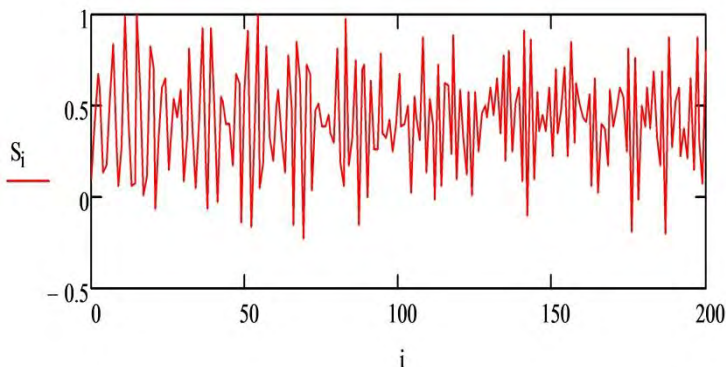


Рис. 3. Суммарная амплитуда сигналов

На рисунке 3 можно наблюдать график изменения суммарной амплитуды сигналов на входе приемника. Можно предположить, что эта сумма содержит регулярную составляющую, обусловленную сигналом прямого луча и быстро меняющиеся составляющие, обусловленные задержанными лучами. В данной си-

стеме был использован фильтр низких частот Баттерворта 3 порядка. Благодаря фильтру был значительно снижен вклад быстро флуктуирующих составляющих, что способствует уменьшению погрешности оценивания угла, следовательно, повышается точность измерительной системы.

Для сравнения результатов оценки точности работы на основе моделирования системы были оценены величины ошибок измерения угла. Зная погрешность в градусах, можно пересчитать эту величину в линейный эквивалент и понять, насколько увеличатся ошибки оценки положения ТС на местности (проезжей части).

На рисунке 4 представлена реализация оценки погрешности измерения угла при многолучевом распространении радиоволн при движении ТС.

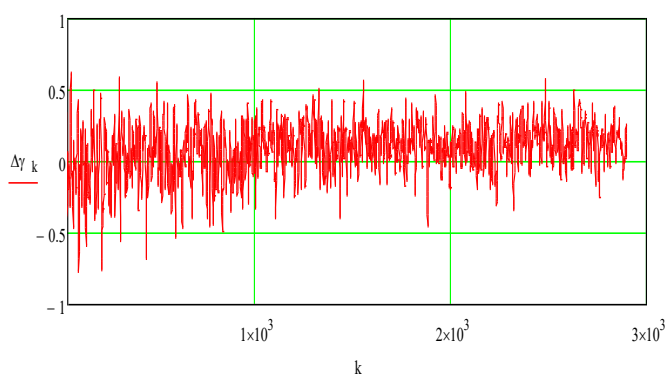


Рис. 4. Погрешность измерения угла

В таблице 1 представлены величины среднеквадратических погрешностей оценки (СКО) при в условиях отсутствия и наличия МР. Все величины получены при средней амплитуде шума 0,02В.

Таблица 1. Сравнение величин ошибки

Присутствие многолучевого распространения	Ошибка измерения угла, град.	Ошибка измерения в линейном эквиваленте, м
Нет	0,144	0,063
Да	0,194	0,085

Как видно из таблицы 1, при выбранном методе измерения угла пеленга МР не критично сказывается на точности системы. По отношению к габаритам автомобиля, погрешность в 0,085 м является вполне допустимой.

Исследование частично выполнено при финансовой поддержки Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 14-08-00523

Список использованной литературы

1. Сысоева, С. Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности. Часть 1 [Текст] / 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. Пудовкин А.П., Рогачёв А.И. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов./ Ю.Н. Панасюк, А.П. Пудовкин, А.И. Рогачёв// Вестник ТГТУ. – 2017. – № 4, с. 595-596.
4. Пудовкин А.П., Панасюк Ю.Н., Данилов С.Н., Москвитин С.П. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation/ Journal of Physics: Conference Series. Volume 1015, Issue 3, article id. 032112, pp. 1
5. Данилов С.Н., Кольтюков Н.А., Чернышова Т.И., Петров С.В. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний//Вестник ТГТУ, №3, 2016, с. 374-380.

Чернышов В.Н., Удалова А.П., Чернышов А.В.

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

Аннотация (на русском языке): Предложена информационно-измерительная система неразрушающего контроля теплофизических характеристик, реализующая микроволновый метод определения теплофизических характеристик (тепло- и температуропроводности) строительных материалов и изделий.

Ключевые слова (на русском языке): информационно-измерительная система, неразрушающий контроль, теплофизические характеристики.

В настоящее время в связи с ростом стоимости энергоресурсов актуальным является вопрос энергосбережения. Поэтому необходимо получать оперативную информацию о теплофизических характеристиках (ТФХ) строительных материалов как на этапе строительства, так и в процессе эксплуатации готовых строительных конструкций.

Существующие методы контроля ТФХ строительных материалов [1-3] имеют ряд недостатков, таких как недостаточная точность и оперативность измерений. Поэтому существует необходимость разработки новых методов и реализующих их информационно-измерительных систем (ИИС) контроля ТФХ строительных материалов и изделий не только в процессе их производства, а также при вводе в эксплуатацию готовых строительных объектов.

В данной статье предлагается ИИС неразрушающего контроля ТФХ строительных материалов и изделий, реализующая следующий метод.

На поверхность исследуемого объекта воздействуют микроволновым импульсом СВЧ-диапазона частотой не менее 20 ГГц. При такой частоте у строительных материалов практически вся тепловая мощность выделяется в приповерхностном слое глубиной 1-2 мм [4, 5]. При этом СВЧ-излучение фокусируют линзой из радиопрозрачного материала в линию, длиной не менее 8-10 см, а шириной около 0,2 см. Величина длины линии микроволнового воздействия задается на порядок больше, чем расстояние от этой линии до точки контроля температуры, чтобы концевые

эффекты, обусловленные ограниченностью длины линии теплового воздействия, не влияли на контролируемое температурное поле.

Вначале осуществляют нагрев исследуемого объекта одиночным импульсом заданной мощности Q и определяют интервал времени $\tau_{\text{имп}}$ от начала теплового воздействия до момента, когда температура в точке контроля станет равной первоначальной температуре T_0 , после чего определяют частоту следования импульсов при которой не происходит роста температуры в исследуемом объекте. Затем увеличивают частоту подачи тепловых импульсов до тех пор, пока установившееся значение избыточной температуры в точке контроля станет равным наперед заданному значению $T_{\text{зад1}}$, определяя при этом частоту следования тепловых импульсов F_{x1} . После увеличивают частоту подачи тепловых импульсов до тех пор, пока значение избыточной температуры в точке контроля станет равным второму наперед заданному значению $T_{\text{зад1}}$. При этом определяют частоту подачи тепловых импульсов F_{x2} .

Используя полученную информацию о температурных измерениях, частоте подачи тепловых импульсов и мощности СВЧ-воздействия по полученным математическим зависимостям [6] определяют ТФХ наружных слоев конструкции.

Для практической реализации описанного микроволнового метода разработана микропроцессорная ИИС, схема которой представлена на рис. 1.

Для проведения микроволнового воздействия на исследуемый образец 1 электромагнитное излучение СВЧ-генератора 2 линзой из радиопрозрачного материала 3 фокусируют в линию 4 заданных размеров. Нагрев исследуемого объекта 1 осуществляют импульсным воздействием высокочастотного электромагнитного поля по линии 4 от излучающей рупорной антенны 5 с вмонтированной в неё линзой 3 и соединенной с СВЧ-генератором 2. После микроволнового воздействия осуществляют контроль избыточной температуры на теплоизолированной от окружающей среды поверхности исследуемого объекта в точке контроля, находящейся на расстоянии x от линии электромагнитного воздействия, бесконтактным первичным измерительным преобразователем 6 (ПИП) температуры инфракрасного диапазона, сфокусированным на поверхность исследуемого объекта, который через коммутатор 7, нормирующий прецизионный усилитель 8 и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 9 подключают к микропроцессору 10. В эксперименте расстояние x берётся обычно равным 15 мм. Микропроцессор 10 соединен через порт ввода-вывода 11 с СВЧ-генератором 5 и коммутатором 7, который осуществляет подключение ПИП в соответствии с алгоритмом, построенным на основе процедур

предложенного метода. Данные эксперимента выводятся на индикатор 12. Используя полученную в ходе теплофизического эксперимента измерительную информацию, в микропроцессоре 10 искомые ТФХ рассчитываются по алгоритмам, построенным на основании аналитических соотношений (6) и (7), описывающих тепловые процессы в исследуемом полуграниченном в тепловом отношении объекте.

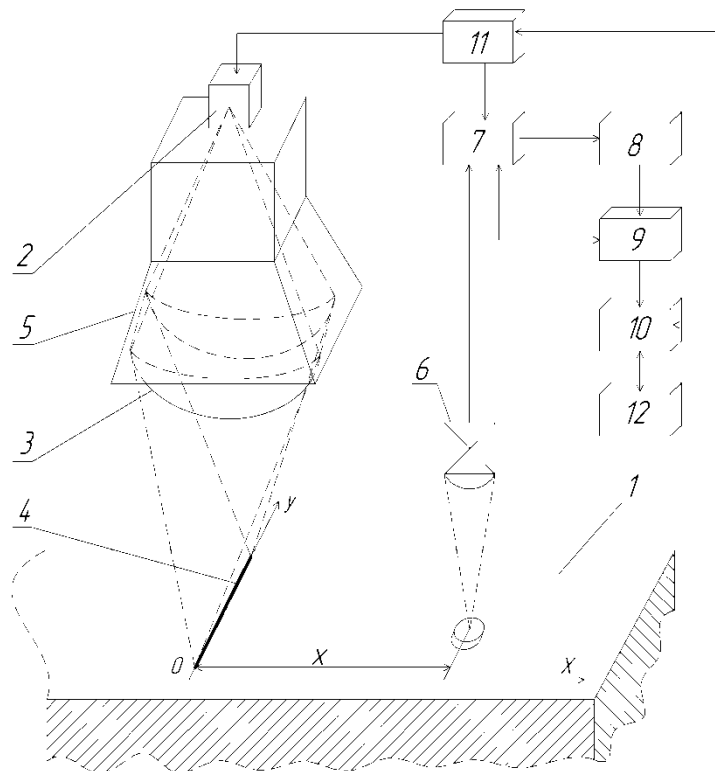


Рисунок 1 – Схема микропроцессорной ИИС, реализующей микроволновый метод неразрушающего контроля теплофизических характеристик строительных материалов и изделий

Предложенная ИИС не требует изготовления образца для определения ТФХ строительных материалов и изделий, что позволяет не выводить объект из эксплуатации и осуществлять неразрушающий контроль ТФХ исследуемых строительных объектов и материалов. Кроме того, осуществление нагрева до заданной температуры, значения которой берется на 20–30% меньше температуры термодеструкции исследуемых материалов, также позволяет осуществлять неразрушающий контроль исследуемых объектов. Предложенная ИИС позволяет получать информацию в частотно-импульсной форме, что повышает точность результатов измерений и помехозащищенность метода.

Данная статья выполнена в рамках гранта РФФИ 06-08-00673-а.

Список используемых источников

1. Голиков Д.О. Микроволновый метод и система неразрушающего контроля теплофизических характеристик строительных материалов [Текст] / Д.О. Голиков, В.Н. Чернышов, А.В. Чернышов, В.И. Полухин // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2011. – № 1. – С. 8-12.
2. Пат. №2497105 РФ, МПК G 01 N 25/18. Способ неразрушающего контроля теплофизических характеристик строительных материалов и изделий [Текст] // Чернышов А.В., Голиков Д.О., Чернышов В.Н., Полухин В.И., Рожнова Л.И.; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ). – № 2012116343/28; заявл. 23.04.2012; опубл. 27.10.2013, Бюл. N 30.
3. Чернышов В.Н., Жарикова М.В., Чернышов А.В. Микроволновый метод неразрушающего контроля теплофизических характеристик строительных материалов [Текст] / В.Н. Чернышов, М.В. Жарикова, А.В. Чернышов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2018. – Т. 84. – № 10. – С. 29-34.
4. Пюшнер Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот [Текст] / Г. Пюшнер // М.: Энергия. – 1968. – 312 с.
5. Клюев В.В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий [Текст]. Справочник / под ред. Клюева В.В. – М.: Машиностроение. – 1976. – Т. 2. – 182 с.
6. Чернышов В.Н., Чернышова Т.И. Методы и информационно-измерительные системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий [Текст]: Монография. / В.Н. Чернышов, Т.И. Чернышова // Спб: «Экспертные решения». – 2016. – 384 с.

Шепелёв Н.И.¹, Ожогина Л.С.¹, Зебрева М.М.²

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММ ДЛЯ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ СХЕМ

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
(г. Тамбов),

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет»
(г. Москва)

Аннотация. Рассматривается 3 различных программных пакета схемотехнического моделирования: *Micro-Cap*, *NI Multisim* и *LTspice*. Для каждого из пакетов приводится краткое описание, его достоинства и недостатки.

Ключевые слова: *Micro-Cap*, *NI Multisim*, *LTspice*.

При разработке электрических схем для ускорения процессов устранения ошибок современный рынок программных средств обладает большим разнообразием для выбора. Рассмотрим 3 программных пакета: *Micro-Cap*, *NI Multisim* и *LTspice*.

Micro-Cap является профессиональной программой аналогового, цифрового и смешанного моделирования, которая предназначена для анализа цепей электронных устройств средней степени сложности. [1] Алгоритм работы заключается в создании электрической схемы в графическом редакторе, настройке определенных параметров анализа и изучении полученных данных. *Micro-Cap* самостоятельно составляет уравнения цепи и проводит моментальный расчёт. Любое изменение параметров элементов или схемы приводит к автоматическому обновлению результатов. Моделирование включает в себя переходные процессы, передаточные характеристики по постоянному току, малосигнальные частотные характеристики и многое другое. Также допускается одновременно использовать разного вида стандарты элементов схемы. [1]

Среди преимуществ можно выделить широкий спектр возможностей, нетребовательность к вычислительным ресурсам персонального компьютера, высокую скорость работы и понятный интерфейс. [2]

Единственным недостатком является необходимость установки дополнительных элементов, так как объем библиотек *Micro-Cap* (даже в полной версии) явно недостаточен. Пример схемотехнического моделирования представлен на рисунке 1. [3]

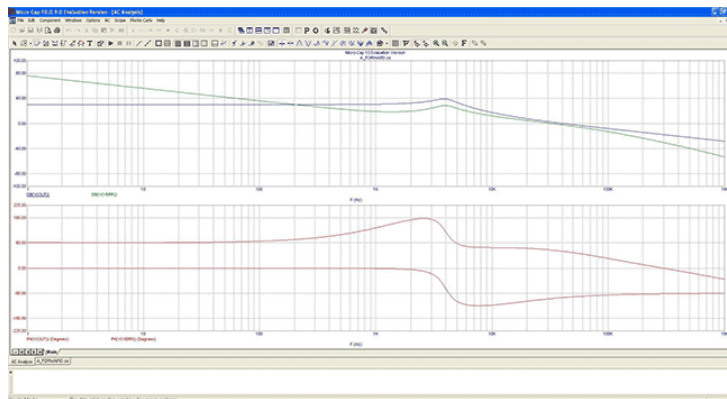


Рис. 1 – Пример схемотехнического моделирования в программе Micro-Cap

NI Multisim — программный комплекс, позволяющий моделировать электронные схемы и разрабатывать топологию печатных плат. [4]

Библиотека элементов содержит более 2000 моделей компонентов SPICE и других производителей. В нем представлены электромеханические модели, импульсные блоки питания, преобразователи мощности. NI Multisim выпускается в двух вариантах – Professional и Education. Пример схемотехнического моделирования представлен на рисунке 2.

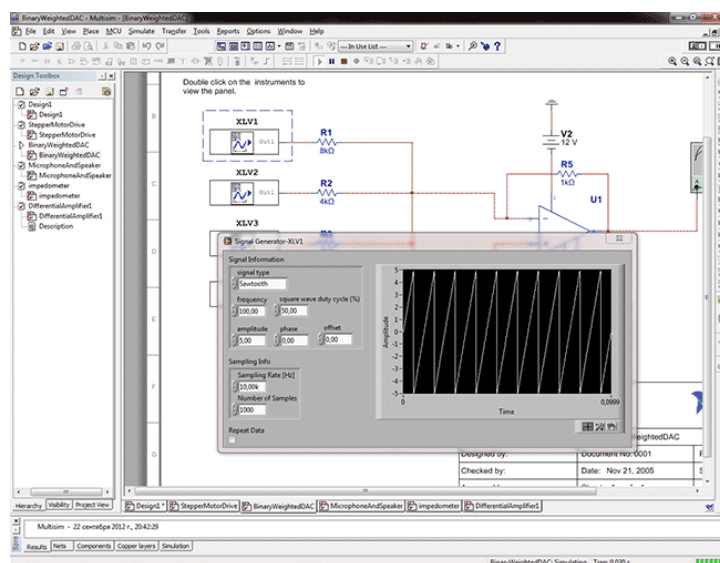


Рис. 2 – Пример схемотехнического моделирования в программе NI Multisim

Программа может взаимодействовать со средой разработки измерительных систем LabVIEW, что позволяет сравнивать теоретические данные с реальными.

К плюсам следует отнести наличие виртуальных измерительных приборов, мощные инструменты графического анализа результатов моделирования, простой интуитивно понятный интерфейс. [4]

Из недостатков можно указать завышенные системные требования, нагрузку на процессор и память при работе с большими схемами, наличие только платной версии продукта. [4]

LTspice — SPICE-симулятор для компьютерного моделирования аналоговых и цифровых электрических цепей.

Программа представляет собой универсальную среду для проектирования и создания электрических схем со встроенным симулятором смешанного моделирования. Результаты всех симуляций отображаются в графическом окне с возможностью дальнейшего анализа. Пример схемотехнического моделирования представлен на рисунке 3. [4]

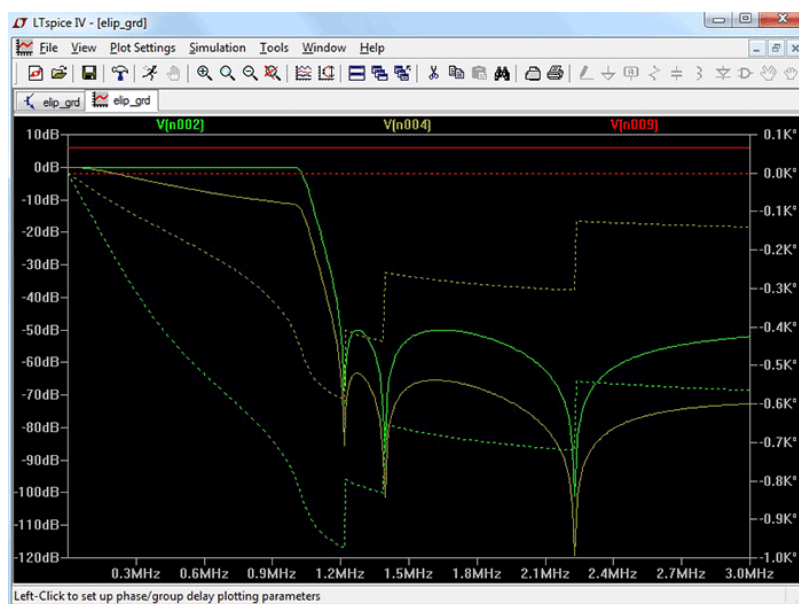


Рис. 3 - Пример схемотехнического моделирования в программе LTspice

Среди преимуществ можно отметить способность программы быстро изменять компоненты и параметры электронных схем, испытывать работоспособность новых вариантов, находить оптимальные решения, а также наличие полностью бесплатной версии. К недостаткам можно отнести ограниченное количество библиотек элементов и довольно неудобный интерфейс.

Таким образом, рассмотрев различные программные пакеты схемотехнического моделирования, рекомендуется выбрать программу Micro-Cap. Это обосновывается тем, что, по сравнению с другими продуктами схемотехнического моделирования, она имеет наиболее удобный интерфейс, широкий спектр возможностей, а также высокую скорость работы.

Список использованной литературы

1. Амелина М.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9 и 10 / Амелина М.А., Амелин С.А. – Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2013. – 618 с., ил.
2. Тюрин И.В., Болтнев Г.А., Бушуев И.О., Мукин Д.А. Исследование резонансных цепей средствами программы Micro-Cap // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы 4-й международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2017. С 168-169
3. Тюрин И.В., Болтнев Г.А., Бушуев И.О., Мукин Д.А. Моделирование системы фазовой автоматической подстройки частоты в среде Micro-Cap // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы 4-й международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2017. С 182-184
4. Антипенский Р.В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Антипенский Р.В., Фадин А.Г. – Москва: Техносфера, 2007. — 128с.

Научное издание

ВТОРАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ
СБОРНИК ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ

21 – 22 декабря 2020 года

Издательство Першина Р.В.,
392002, Тамбов, ул. Советская, 21, а/я 7.
email: pershin.tambov@gmail.com, тел. 8-909-232-81-01.

Формат 70x100/16. Бумага офсетная.
Печать электрографическая. Гарнитура Times.
Объем – 30,1 усл. печ. л. Тираж 400 экз.