#### Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

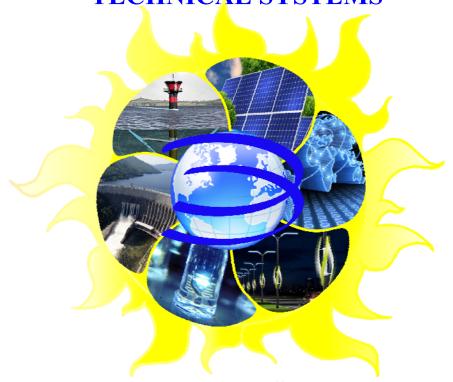
Ministry of Scienceand Hight Education of the Russian Federation

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» FSFEE HE «Tambov State Technical University»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

#### ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

### ENERGY-SAVING AND EFFICIENCY IN TECHNICAL SYSTEMS



МАТЕРИАЛЫ VII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ 9-11 ноября 2020 г.

PROCEEDINGS OF VII NTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE OF STUDENTS, RESEARCHERS AND SPECIALISTS November 9–11, 2020

#### Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

#### ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Ministry of Science and Hight Education of the Russian Federation

FSFEE HE «Tambov State Technical University»

#### ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

МАТЕРИАЛЫ VII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

9-11 ноября 2020 г.

#### ENERGY-SAVING AND EFFICIENCY IN TECHNICAL SYSTEMS

PROCEEDINGS OF VI INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE OF STUDENTS, RESEARCHERS AND SPECIALISTS

November 9–11, 2020



УДК 658.26 ББК 31.3 Э65

#### Редакционная коллегия:

**Т.И. Чернышова** – ответственный редактор, директор института энергетики, приборостроения и радиоэлектроники, д-р техн. наук. проф.; С.Н. Баршутин – ученый секретарь конференции, зам. ответственного редактора, к-т техн. наук, доцент; Д.Ю. Муромцев - проректор по научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВО «ТГТУ», д-р техн. наук. проф.; В.Ф. Калинин – советник при ректоре ФГБОУ ВО «ТГТУ», д-р техн. наук. проф.; **А.П. Пудовкин** – заведующий кафедрой «Радиотехника», д-р техн. наук. проф.; С.В. Фролов – заведующий кафедрой «Биомедицинская техника», д-р техн. наук. проф.; А.Н. Грибков – заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий и теплотехника», д-р техн. наук. проф.; *Н.Г. Чернышов* – заведующий кафедрой «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», кт техн. наук, доцент; **А.В. Кобелев** – заведующий кафедрой «Электроэнергетика», к-т техн. наук, доцент; С.П. Москви*тин* – ответственный секретарь конференции, к-т техн. наук, доцент.

Э65 Энергосбережение и эффективность в технических системах: Материалы VII Международной научнотехнической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов, 9-11 ноября 2020 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»; Т.И. Чернышова, отв. ред. — Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2021. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Системные требования: ПК не ниже класса Pentium II; CD-ROM-дисковод; Windows 7/8/10; мышь. — Загл. с экрана.

В сборник включены материалы пленарных и секционных докладов в соответствии с тематикой VII Международной научнотехнической конференции студентов, молодых ученых и специалистов: Энергосберегающие и информационные технологии в проектировании технических систем; Актуальные проблемы теплоэнергетики и теплотехники; Энергосбережение в электроэнергетики; Методы и средства контроля эффективных технических систем; Эффективные биотехнические системы.

Предназначено для преподавателей, аспирантов, магистров, студентов и молодых ученых с целью использования в научно-исследовательской работе и учебной деятельности.

Подготовлено по материалам, предоставленным в электронном варианте, и сохраняют авторскую редакцию. Оргкомитет, Программный комитет, Секретариат конференции и редакция ответственности за содержание предоставленных авторами материалов не несут.

#### Editorial Board:

T.I. Chernyshova - executive editor. Director of Institute of power engineering, tool engineering and radioelectronics, Doctor of Technical Sciences, Prof.; S.N. Barshutin - conference academic secretary, deputy executive editor, Candidate of Technical Sciences, Assistant professor; D.Yu. Muromtsev - Vice-Rector for scientific and innovation activities TSTU, Doctor of Technical Sciences, Prof.; V.F. Kalinin - TSTU rectorate advisor, Doctor of Technical Sciences, Prof.; A.P. Pudovkin - Head of the chair Radio Engineering Doctor of Technical Sciences, Prof.; S.V. Frolov - Head of the chair Biomedical Engineering Doctor of Technical Sciences, Prof.; A.N. Gribkov - Head of the chair Enterprise Energy Supply and Heat Engineering Doctor of Technical Sciences, Prof.; N.G. Chernyshov - Head of the chair Design of Radioelectronic and Microprocessor Systems Candidate of Technical Sciences, Assistant professor; A.V. Kobelev - Head of the chair Power Engineering Candidate of Technical Sciences, Assistant professor; S.P. Moskvitin - conference academic secretary, Candidate of Technical Sciences, Assistant professor.

Energy-saving and efficiency in technical systems: Proceedings of VI International scientific and technical conference of students, researchers and specialists. Tambov, November 9–11, 2020/ Ministry of Science and Hight Education of the Russian Federation; FSFEE HE «Tambov State Technical University» T.I. Chernyshova, executive editor. – Tambov: Pershin R.V. Publishing, 2021. – 1 CD-ROM. – Minimum system requirements: Pentium II; Windows 7/8/10; mouse.

The proceedings include materials of plenary session and penal presentations of VII International scientific and technical conference of students, researchers and specialists: Energy-saving and information technologies in technical systems design; Current issues of heat power engineering and heat technology; Energy-saving in power engineering; Control methods and means in energy-efficient technical systems; Efficient bio-technical systems.

This publication is intended for teachers, post-graduates, Master students, students and young researchers to be used in research and training activities.

Conference proceedings contain the materials provided in the electronic version and retain the author's edition.

Organizing Committee, Program Committee, Conference Secretariat and the editorial board cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

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

#### СОДЕРЖАНИЕ

ЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	11
<i>Арьков Г.В., Федюнин П.А.</i> ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СИТУАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СВЯЗИ	12
БЕЛОУСОВ С.С., ФЕДЮНИН П.А.  ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НЕПРЕРЫВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ С УЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТА СВЯЗНОСТИ	14
БЕЛОУСОВ С.С., ФЕДЮНИН П.А. ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ	18
Глушко А.А. КОМПЛЕКСНАЯ ОБУЧАЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ СРЕДА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КУРСА	20
Гоберкорн Л.Б, Чернышов Н.Г <u>.</u> ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЦИФРОВОГО ТВ СИГНАЛА	22
Головченко Е.В., Афанасьев А.Д., Першин А.А. ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ	24
<i>Гугуев М.Б.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	27
Данилин М.А., Татаринов А.Н. НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЧАСТОТНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЫ АВИАЦИОННЫХ ФОРМИРОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ	29
Дмитриев О.С. Барсуков А.А.  ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ОТВЕРЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ  КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	31
Дмитриевцев А.Ю., Кудряшов М.А., Тетюхин В.И. МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОЛУЧЕВЫХ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ В АДАПТИВНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМАХ	33
Доронина Е.А., Фирсов А.А., Жалнин В.П. АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МЕМРИСТОРНОЙ ПАМЯТИ	35
Дорохова Т.Ю., Калашников С.Н., Толстых С.В. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ПРИ ПОЛУПАССИВНОМ САМОНАВЕДЕНИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ	37
ЗАЛУКАЕВА Н.Ю. ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ ПОСТАВКОЙ ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ КОНЕЧНОМУ ПОТРЕБИТЕЛЮ	39
ЗЕБРЕВА М.М., ЗЫРЯНОВ Ю.Т. ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ СВЯЗИ	41
<i>Казаков В.В., Нажмутдинова К.А.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ КОМПОНЕНТОВ В КОРПУСЕ	43

КАЗЬМИН А.И., ФЕДЮНИН П.А., РЯБОВ Д.А. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИРЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСЛОЙНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ СИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН	5
Кирюпин М.М. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ АНТЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО БАРЬЕРА ОТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	8
Колодин В.И., Баранов Р.А., ДЕВЯТОВ С.В.  ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ ПО ЭТАПАМ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕТА	0
Колодина А.А., Чернышов Н.Г. ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ	2
КУДРЯШОВ М.А., БЕЛОУСОВ О.А., ДМИТРИЕВЦЕВ А.Ю., КОЗАДАЕВ Р.О. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СИСТЕМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РАДИОМОНИТОРИНГА, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ	4
Лихачев Д.Б., Корбань В.Г., Борисов Ю.С. АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ИНЖЕНЕРНО- АЭРОДРОМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЗИРОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ФОРМИРОВАНИЙ В ОСОБЫЙ ПЕРИОД	6
Майоров М.А., Скоморохов К.В. АНАЛИЗ СОВМЕЩЕННЫХ ВИБРАТОРНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ДИФРАКЦИИ НА ПЕРЕОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ПРОВОДНИКОВ 66	6
Мосин А.И., Тетерятников А.В., Кайдаш Е.П. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ	8
<i>Назмутдинов И.С.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРЕЙМОВОЙ МОДЕЛИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ TEXHUYECKUX CUCTEM72	1
Наумова А.Ю. О НЕКОТОРЫХ ПОДХОДАХ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	4
ПЕРШИН А.А., ГОЛОВЧЕНКО Е.В. ФАКТОР НИЗКОЙ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЁННОСТИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ	6
РЕЗЧИКОВА Е.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАКОМПЕТЕНЦИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ЛИЧНОСТИ79	9
Богословский Е.А., Самсонов М.В. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОТОВНОСТИ СРЕДСТВ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ АВИАЦИИ	1
Селиванова З.М., Куприянов А.В. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ	4

	Симбаев А.Н., Слинин С.И., Зырянов Ю.Т. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И КОМПЕНСАЦИЯ СРЫВА ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТА ТЕЛЕВИЗИОННЫМ СЛЕДЯЩИМ УСТРОЙСТВОМ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ТИПА	87
	Скворцов А. А. КВАЗИАНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ШИРОКОПОЛОСНОСТИ ЛУНАРНОГО ВОЛНОВОДА	89
	Скоморохов К.В., Майоров М.А. СИНТЕЗ КРУГОВОГО МИКРОПОЛОСКОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В СУБМИЛЛМИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ	92
	Скорик А.С., Рябов А.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТИ ДЕКАМЕТРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	94
	Соловьева И.А., Соловьев Д.С. ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ ДЛЯ НАГРЕВА ЭЛЕКТРОЛИТА В ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ВАННЕ	96
	Тененбаум Г.А., Качурин А.А., Жалнин В.П. МЕМРИСТОРЫ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И НЕЙРОМОРФНЫХ СИСТЕМ	98
	<i>Тюрин И.В., Токарев Р.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ЭНЕРГОЕМКИМИ ОБЪЕКТАМИ	101
	Хворова Н.А., Долгов С.Б., Шамкин В.Н. ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ НА ПРОИЗВОДЯЩЕМ РАДИОЭЛЕКТРОННУЮ ПРОДУКЦИЮ ПРЕДПРИЯТИИ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ	103
	Хрипунова А.С.,Гниломёдов Е.В. МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ НАУЧНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ КОМПАНИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	105
	<i>Шепелёв Н.И., Ожогина Л.С.</i> АНАЛИЗ РАБОТЫ СХЕМЫ АТТРАКТОРА ЛОРЕНЦА В ПРОГРАММЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ MICRO-CAP	108
	Шибирина И.О., Чернышов Н.Г. АКТУАЛЬНОСТЬ И ВАЖНОСТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОПТИМИЗАЦИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ	111
	<i>Шибирина И.О.</i> ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	115
	Юдин А.В., Юдин В.В. ЭКВИВАЛЕНТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ПОЛЕЙ РАССЕИВАНИЯ	117
	<i>Юрченко С.П., Усмонов И.С.</i> ОЦЕНКА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ РАДИОЛИНИЙ С МЕДЛЕННОЙ ППРЧ	119
CI	ЕКЦИЯ 2. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ТЕПЛОТЕХНИКИ	121
	Бушуев А. С. МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЦЕЛЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ РЕКУПЕРАЦИИ ВТОРИЧНОЙ ЭНЕРГИИ	122

	Гниломёдов Е.В., Хрипунова А.С. ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ОРГАНИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПАНИЙ	124
	<i>Грачев А.С., Баршутин С.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЛАМЕНИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ	126
	ГРАЧЕВ А.С., БАРШУТИН С.Н. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	130
	Грибков А.Н. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ МНОГОМЕРНЫМИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	132
	Гурьянов А.И., Евдокимов О.А., Веретенников С.В. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В ПРОТИВОТОЧНОМ ГОРЕЛОЧНОМ МОДУЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНИЗОТРОПНЫХ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ	134
	<i>Евдокимов О.А., Гурьянов А.И.</i> ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В ВИХРЕВОМ ПРОТИВОТОЧНОМ ГОРЕЛОЧНОМ МОДУЛЕ	136
	<i>Ерёмин В.В., Истомина Т.А.</i> ПОЛУЧЕНИЕ «ЗЕЛЁНОГО» ВОДОРОДА	139
	КЛЮЕВ А.Ю., ГУРЬЯНОВ А.И., ЕВДОКИМОВ О.А. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ И ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ НА МИКРОМАСШТБАНОМ УРОВНЕ	141
	Колесникова Е.С. ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	143
	Мешкова Э.А., Баршутин С.Н. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ МОДЕЛИ ТРАЕКТОРИИ ЭЛЕКТРОНА В ПОЛЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ИОНА	145
	Мешкова Э.А., Баршутин С.Н. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЛАМЕНИ	148
	НОСКОВА К.Р., ГУРЬЯНОВ А.И., ГУРЬЯНОВА М.М. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВХОДНОЙ НЕСИММЕТРИЧНОСТИ ЭПЮРЫ СКОРОСТИ НА ГАЗОДИНАМИКУ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД С УЧЕТОМ ЗАКРУЧЕННОГО ТЕЧЕНИЯ В ЖАРОВОЙ ТРУБЕ	152
	Чубаров Р.Ю., Попов О.Н. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОГЕНЕРАЦИИ В РОССИИ	154
C	ЕКЦИЯ 3. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ	
	ПАВЛОВ И.В., ЗАЦЕПИНАВ.И. АЛГОРИТМ РЕГУЛИРОВАНИЯ APFR (AVERAGE POWER FACTOR REGULATION)	157
	Адамова А.А. СИНТЕЗ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМИЗАЦИИ СЕТЕВОЙ НАГРУЗКИ	159
	<i>Гурин Д.С.</i> УСТРОЙСТВО СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	161

ЗАЦЕПИН Е.П., ЖУКОВ В.С. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВІМ МОДЕЛЕЙ	163
Зацепина В.И., Астанин С.С. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С УЧЁТОМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	165
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 ARDUINOIDE	167
КУДРЯВЦЕВ А.Е., ЗАЦЕПИНА В.И. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ВОДОРОДНЫМ АККУМУЛИРОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ	169
Кустов А.Н., Зацепина В. И. АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ	171
<i>МАЛКОВ И.В.</i> АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫРАЗВИТИЯВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ	174
МАНИН А.В., ВАЙНЕР Д.Б. КОМПЕСАТОР РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА БАЗЕ МАГНИТО-ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	176
Постников Н.Г., Орехов Е.А., Пономаренко Р.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	178
СЕДЫХ К.В., ЗАЦЕПИНА В.И. СИСТЕМЫ МКС КАК ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ	180
Зацепин Е.П., Старцева Д.О. РОЛЬ ВЕМ-МОДЕЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ	182
Стаценко Р.А., Зацепин Е.П. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УМНОГО УЧЕТА	184
<i>Селиванов К.В.</i> АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРИВОД СЛЕЖЕНИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА	186
Гусев М.Р., Макарчук В.В. РОЛЬ КОНТРОЛЛЕРОВ ЗАЩИТЫ АККУМУЛЯТОРОВ В АВТОНОМНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	188
ТЕРЕХОВА А.А., ДМИТРИЕВСКИЙ Б.С., ДЬЯКОВ И.А. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	191
<i>Чекулдаева С.Р., Зацепина В.И.</i> СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ	193
Кудрявцев А.Е., Зацепина В.И. НОВЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ	197
Курилов В.Ю., Зацепина В.И. ЭНЕРГИЯ ВОДЫ: МИНИГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ И ЕЁ ПЕРСПЕКТИВЫ В СЕГОДНЯШНИХ РЕАЛИЯХ	201
Павлов И.В., Зацепина В.И. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ	205

Зацепин Е.П., Старцева Д.О. АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕХОДА ОТ CAD-СИСТЕМ К ВІМ МОДЕЛИРОВАНИЮ	209
Стаценко Р.А., Зацепин Е.П. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ КАК СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	
Умаров В.О., Зацепина В.И. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ HVDC	216
<i>Чекулдаева С.Р., Зацепин Е.П.</i> СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ	219
СЕКЦИЯ 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ В ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	223
Алексеев М.В., Аистов В.С. ОЦЕНИВАНИЕ ДАЛЬНОСТИДО ЦЕЛИ С УПРАВЛЕНИЕМ ПО НЕВЯЗКЕ	224
<i>Амелина В.И., Худякова А.Д.</i> МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КВАДРАТУРНЫХ МЕТОДОВ ФМН	
<i>Букин М.В., Зырянов Ю.Т.</i> К ВОПРОСУ ВЫБОРА МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ	229
Ващенко С.С. ПРИМЕНЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ SURFER ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	231
ГРИШИН А.В., ГОРБУНОВА А.Ю., КУРЕПИНА Д. С, ОВСЯННИКОВА В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОКРЫТИЯ	233
ИВАНОВ А.В., СУРКОВ О.В., НЕГУЛЯЕВА А.П. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ И ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА ЗА СЧЕТ ИЗБЫТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	236
Казьмин А.И., Федюнин П.А., Рябов Д.А. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСЛОЙНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН	
Казьмин А.И., Федюнин П.А., Рябов Д.А. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕЖСЛОЙНЫХ ДЕФЕКТОВ В МНОГОСЛОЙНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЯХ СВЧ МЕТОДОМ	242
Майникова Н.Ф., Гришин А.В., Горбунова А.Ю., Иванов О.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ	244
Майникова Н.Ф., Гришин А.В., Горбунова А.Ю., Иванов О.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ТЕПЛОВЫМ НЕРАЗРУШАЮЩИМ СПОСОБОМ	246
<i>Маслина В.В.</i> РЕКОНФИГУРИРУЕМАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ АНТЕННЫ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ	248

	Мжельский А.А. , Панасюк Ю.Н. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДАЛЬНОСТИ СО СЛУЧАЙНОЙ СТРУКТУРОЙ ПРИ ТРАЕКТОРНОЙ ОБРАБОТКЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ	250
	Ряхов Б.Т., Хворов Р.А., Безрядин В.А. ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СИСТЕМАХ СВЯЗИ	252
	САРЫЧЕВ Р.А., ХРЕБТОВ А.Р. СОВМЕСТНАЯ ВТОРИЧНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ ВОЗДУШНОГО СУДНА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ	255
	СЕРГЕЕВА Н.А. ПОТОКОВЫЙ АНАЛИЗ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ	258
	Сорока Е.П., Стафеев М.А. ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА РАДИОСВЯЗИ С ЭКИПАЖАМИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ МОРСКОЙ АВИАЦИИ	259
	ХРЕБТОВ А.Р., САРЫЧЕВ Р.А. СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОЛУЧЕВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ НА СИСТЕМУ КОНТРОЛЯ ЗА ДВИЖЕНИЕМ АВТОМОБИЛЕЙ	261
	Хрипунов В.П., Зырянов Ю.Т. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЕРОВ	263
	Ворогушин П.А., Кольтюков Н.А., ФЕТИСОВ И.Н. АНАЛИЗ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИМИ ТЕПЛОВЫМИ АППАРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОФИЛЯ	265
	Ворогушин П.А., Кольтюков Н.А., ФЕТИСОВ И.Н. СИНТЕЗ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИМИ ТЕПЛОВЫМИ АППАРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОФИЛЯ	268
CI	ЕКЦИЯ 5. ЭФФЕКТИВНЫЕ БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	271
	ВЕНЦЕРОВА Н.В., ТЫМЧУК Т.М. РАЗРАБОТКА ПОЛОЙ СТРУКТУРЫ, ИМИТИРУЮЩЕЙ КРОВЕНОСНЫЙ СОСУД, ДЛЯ ТКАНЕИМИТИРУЮЩЕГО ФАНТОМА КОЖИ ЧЕЛОВЕКА	272
	ЛЕНЬШИН С. Г., ДУБРОВИН В.В. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА	274
	Михина А.В., Строев В.М. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИДЕО-ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ СКРИНИНГА КОЖНОГО ПОКРОВА ЧЕЛОВЕКА	276
	Непрокин А.В., Горбунов А.В. АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ ВИДЕООКУЛОГРАФИИ	278
	НОВИКОВ А.А., СУКАЧЕВ А.И., РЫБНИКОВ Д.А., САФОНОВ И.А. СИСТЕМА БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАССАЖИРОВ В БЕСПИЛОТНОМ АВТОМОБИЛЕ	280

СЕВОДИНА А.Н., ФРОЛОВА Т.А. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ	283
Судаков Д.Е., Дубровин В.В. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛОСОВЫХ ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ ЗРИТЕЛЬНОЙ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА	285
Тымчук Т.М., ВЕНЦЕРОВА Н.В. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ТКАНЕИМТИРУЮЩЕГО ФАНТОМА МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ И АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ТОМОГРАФОВ	287
ФРОЛОВ С.В, ПОТЛОВ А.Ю., ФРОЛОВА Т.А., LIEPSCH D. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ	289
ФРОЛОВ С.В., ПОТЛОВ А.Ю., ФРОЛОВА Т.А.  ОЦЕНКА СКОРОСТИ КРОВОТОКА В МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ	291
ФРОЛОВ С.В., ПОТЛОВ А.Ю., ФРОЛОВА Т.А. УСТРОЙСТВО ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ ОКТ С КОРРЕКЦИЕЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА НА ОСНОВЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ЛАЗЕРА БЛИЖНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА	293

# СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

#### Арьков Г.В., Федюнин П.А.

#### ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СИТУАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СВЯЗИ

ВУНЦ ВВС "ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" (г. Воронеж)

**Аннотация:** Предлагается подход к оценке диагностических свойств ситуационных тестовых заданий без рассмотрения их содержания.

Ключевые слова: ситуационное тестирование, уровень подготовленности, оценка.

Для целесообразного определения содержания обучения в системе подготовки специалистов связи возникает задача выбора системы оценки их уровня подготовленности. Действенным инструментом в данной области является ситуационное тестирование, под которым понимается процесс распознавания действительного состояния уровня подготовленности в условиях ограниченной или избыточной информации. Составление и выполнение ситуационных тестов должно быть связано с будущей моделью профессиональной деятельности [1].

В основе теста лежит решение ситуационных тестовых заданий (СТ3) – специальных средств обучения и оценивания, включающих совокупность условий, направленных на решение практически значимых ситуаций с целью осознанного усвоения обучаемыми содержания учебного предмета [2].

Одной из основных задач разработчика теста является составление таких СТЗ, которые были бы способны отделить сильных обучаемых от слабых. Для получения статистических показателей необходимо рассмотреть различные сочетания событий, связанных с успешностью или не успешностью выполнения как отдельного СТЗ, так и теста в целом. Эти события зависимые и совместные, следовательно, к ним может быть применен байесовский подход [3], в рамках которого возможны следующие ситуации: тестируемый выполнил данное СТЗ и успешно сдал тест (сильный обучаемый); тестируемый не выполнил данное СТЗ, но успешно сдал тест (сильный обучаемый); тестируемый выпол-

нил данное СТЗ, но не прошел тест (слабый обучаемый); тестируемый не выполнил данное СТЗ и не прошел тест в целом (слабый обучаемый).

Обозначим  $N_1$  и  $N_2$  – количество сильных обучаемых, выполнивших и не выполнивших данное СТЗ;  $N_3$  и  $N_4$  – количество слабых офицеров, выполнивших и не выполнивших данное СТЗ;  $N=N_1+N_2+N_3+N_4$  – суммарное количество попыток выполнения данного СТЗ. Предлагаются следующие диагностические характеристики:

- коэффициент решаемости  $K_P = (N_1 + N_3)/N$ ;
- ошибка 1-го рода или коэффициент трудности  $K_T = N_2/(N_2 + N_4)$ ;
- ошибка 2-го рода или коэффициент интуитивности  $K_{\it H} = N_3 \, / (N_1 + N_3)$ ;
- коэффициент дискриминантности  $K_{\it II} = (N_1 + N_4) \, / \, N$  .

При анализе и селекции тестовых заданий целесообразно ориентироваться на все четыре показателя или, учитывая требования максимизации коэффициентов решаемости и дискриминантности и минимизации значений ошибок 1-го и 2-го рода, в качестве инте-CT3 быть коэффициент грального показателя может ткнисп качества  $K_K = C_1 K_P + C_2 K_{\mathcal{I}} - C_3 K_T - C_4 K_{\mathcal{U}}$ , где  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  и  $C_4$  – коэффициенты, учитывающие значимость соответствующих коэффициентов, определяемые императивно, исходя из целей проводимого диагностического обследования. Предлагаемая методика оценки ситуационных тестовых заданий представляет собой экспресс-метод оценки диагностических свойств без рассмотрения их содержания.

- 1. Осадчий А.И. Научно-методический аппарат по подготовке и проведению компьютерных командно-штабных учений и военных игр с должностными лицами органов управления связью: монография / Под ред. проф. В.Ф. Комаровича. СПб.: ВАС, 2005. 104 с.
- 2. Акулова, О.А. Конструирование ситуационных задач для оценки компетентностей учащихся: учебно-методическое пособие для педагогов школ / О.А. Акулова, С.А. Писарева, Е.В. Пискунова. СПб.: КАРО, 2008. 96 с.
- 3. Вознюк М.А. Теоретические основы квалиметрии высшей военной школы. СПб.: ВАС, 1997. 141 с.

#### Белоусов С.С., Федюнин П.А.

# ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НЕПРЕРЫВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ С УЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТА СВЯЗНОСТИ

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

**Аннотация:** в статье предложен подход к оценке возможностей системы связи по обеспечению непрерывности управления авиационным формированием с учетом показателя коэффициента связности.

Ключевые слова: система связи; управление; качество; коэффициент связности.

Возросшая роль применения новых образцов вооружения, военной и специальной техники, внедрение роботизированных видов вооружений и необходимость достижения информационного превосходства над противником, определило потребность более рационального и комплексного использования ресурсов сетей связи авиационных формирований (АвФ)[1].

Под способностью системы управления обеспечить процесс управления в необходимом темпе и функционирование управляемых сил без снижения их боевой готовности, устойчивости и эффективности в статье понимается непрерывность управления АвФ.

В соответствии с основными положениями теории управления войсками вероятность того, что управление АвФ будет непрерывным можно получить путем решения уравнения:

$$P_{H}(t) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \left[ 1 - e^{-(\alpha + \beta)t} \right] + e^{-(\alpha + \beta)t}, \tag{1}$$

где  $\beta = \frac{1}{T_{np}}$  – интенсивность потери управленческих функций;

 $\alpha = \frac{1}{T_e}$  - интенсивность восстановления управленческих функций;

 $T_{\it np}$  - среднее время между интервалами потери управления;

 $T_{\scriptscriptstyle g}$  - среднее время восстановления управленческих функций.

Оценка возможностей системы связи по обеспечению непрерывности управления АвФ заключается в сравнении количественного значения рассматриваемого показателя качества управления с эталонным, вывода о его соответствии, и как следствие, корректировка расхождений через проведение мероприятий по изменению отдельных свойств системы связи (ССв).

В данной статье основной акцент сделан на рассмотрении влияния показателя связности сети на качество управления АвФ и применение полученной зависимости при оценке возможностей ССв по обеспечению непрерывности управления.

Формульная зависимость (1) позволяет сделать вывод о том, что наибольшее влияние на вероятность непрерывного управления АвФ будут оказывать свойства ССв, обеспечивающие устойчивость и своевременность обмена данными между органами управления и управляемыми объектами.

Устойчивость ССв характеризуется способностью обеспечить управление чемлибо при воздействии различных деструктивных факторов, в том числе природного и техногенного характера [2], определяемая такими свойствами как живучесть, помехоустойчивость и надежность. В рамках статьи предлагается рассмотреть живучесть и надежность ССв как наиболее приоритетные при оценке информационнотелекоммуникационных сетей связи подсистемы наземной связи.

Надёжность сети связи обусловлена её свойством обеспечивать связь, сохраняя во времени значения установленных показателей качества в заданных условиях эксплуатации. В целях ее оценки производится расчет значения вероятности связности направлений и каналов связи АвФ, представляя сеть связи в виде графа сети. Граф сети связи представляет собой совокупность вершин и соединяющих их ребер, в котором вершинами графа являются такие элементы сети (обычно узлы связи), к которым направлены не менее трех линий связи от других узлов. Ребра графа сети связи представляют собой совокупность линий связи (систем передачи), которые соединяют вершины графа. Показатели связности определяются между элементами графа сети

связи, которыми могут быть точки окончания каналов и трактов (выбранные вершины графа).

При практических расчетах перечень простых цепей или путей  $\mu_{ij}^k$  между узлами  $v_i$  и  $v_j$  ограничивают только теми путями, которые содержат допустимое число транзитных участков, зависящее от допустимого уровня искажений передаваемой по линии связи информации. Число транзитных участков определяет ранг простых цепей —  $r_{\text{max}}$ . Таким образом, полный перечень простых цепей между узлами связи определяется с учетом максимально допустимого числа транзитных участков (ограничения ранга простых цепей).

Связностью  $p_{ij}^k$  k-го пути  $\mu_{ij}^k$  из перечня всех цепей  $\mu_{ij}$  называется совместная вероятность исправного состояния всех ребер и вершин, образующих эту цепь:

$$p_{ij}^{k} = \prod_{\forall a \in \mu_{ii}^{k}} (1 - q_a) = \prod_{\forall a \in \mu_{ij}^{k}} p_a, \qquad (2)$$

где  $p_a$ — коэффициент готовности а-го элемента последовательности ребер и вершин, принадлежащих пути  $\mu_{ij}^k$ ;

 $q_a = (1-p_a)$  — коэффициент неготовности а-го элемента последовательности ребер и вершин, принадлежащего пути  $\mu_{ij}^k$  (при проведении реальных расчетов этим коэффициентом пользоваться удобнее, чем коэффициентом  $p_a$ ).

Вероятность связности  $\rho_{ij}$  от  $v_i$  и  $v_j$  — это вероятность исправного состояния хотя бы одной цепи из всех возможных цепей или (при ограничении числа транзитных участков  $r_{max}$ ) хотя бы одной цепи с допустимым рангом:

$$\rho_{ij} = \rho_{ij}^{\max} = 1 - \prod_{\forall \mu_{ij}^k \in \mu_{ij}} (1 - \rho_{ij}^k)$$
(3)

В реальных условиях цепи часто взаимозависимы, т.е. имеют общие ребра и вершины. При этом вероятность связности, вычисленная по формуле (3), имеет завышенное значение. Действительное значение получится, если при вычислениях по формуле (3) после раскрытия скобок все члены, имеющие показатели степени больше единицы, заменить на единицу, что соответствует исключению события многократного учета коэффициента готовности одного ребра или одной вершины. Такое действие

обозначают символом E и называют поглощением. Формула для вычисления связности принимает следующий вид:

$$\rho_{ij} = E \{ \rho_{ij}^{\text{max}} = 1 - \prod_{\forall \mu_{ij}^k \in \mu_{ij}} (1 - \rho_{ij}^k) \}$$
(4)

Число перемножаемых сомножителей в формулах (3) и (4) равно числу простых цепей, а число перемножаемых сомножителей в формуле (2) равно числу ребер и вершин в одной цепи. Таким образом, показатели надежности сети связи (по вероятностям связности двухполюсного графа) вычисляют по формуле (4).

К показателю живучести как  $K_{OF}$  будем подходить с определенной степенью вероятности сохранения работоспособности сети связи  $Aв\Phi$  в условиях внешних воздействий [3], которое математически можно выразить отношением:

$$K_{O\Gamma} = P(T) \times K_{\Gamma}, \tag{5}$$

где  $K_{\Gamma}$ - коэффициент готовности, P(T)- вероятность сохранения работоспособности канала связи при воздействии внешних дестабилизирующих факторов (для примера, при уровне ущерба, причиняемому элементам сетей связи при всех видах массового поражения равному 50%, вероятность сохранения электросвязи P(T) = 0,5).

Таким образом, учет коэффициента связности сети при оценке возможностей ССв по обеспечению непрерывности управления АвФ позволит обеспечить устойчивость функционирования ССв в интересах обеспечения процесса управления в необходимом темпе.

#### Список используемых источников

- 1. Арсланов Х.А. Автоматизированная система управления связью Вооружённых Сил Российской Федерации и приоритетные направления ее развития, Москва, Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации, 2016 г. с.17-20.
- 2. ГОСТ Р 53111-2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования.
- 3. Величко В.В., Попков В.Г., Попков В.К Модели и методы повышения живучести современных систем связи, Москва, «Горячая линия-Телеком», 2016 г., 270 с.

Белоусов С.С. $^1$ , Федюнин П.А. $^2$ 

# ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ

<sup>1,2</sup>ВУНЦ ВВС «ВВА» им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

**Аннотация:** в статье предложен подход к разработке методики оценки возможностей системы связи по обеспечению качества управления силами авиации.

Ключевые слова: система связи; управление; качество; методика оценки.

Анализ опыта применения вооруженных сил в различных конфликтах свидетельствуют о повышении роли авиации в современной войне и представляют все более высокие требования к управлению и качеству информационного обмена в системе управления авиационным формированием (АвФ).

Качество системы (процесса) — это совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность к удовлетворению требований в соответствии с ее предназначением. Для обеспечения потребности системы управления АвФ в информационном обмене и решения задач управления на базе системы связи (ССв) создаются информационные направления (ИН), которые реализуются направлениями связи (НСв) [1]. Таким образом, ИН является тем объектом, который связывает в единое целое ССв (так как ИН базируется на НСв) и систему управления (так как она создается для решения задач управления). На основании изложенного, предлагается в целях оценки влияния ССв на качество управления выбрать показатели свойств управления, рассчитываемые именно для ИН.

Исходя из данного предположения, для оценки качества управления АвФ принят коэффициент управления, который рассчитывается как аддитивная свертка коэффициентов качества управления на рассматриваемых ИН с учетом их важности:

$$K_{VIIP} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i K_{UH_i}$$
 (1)

где i = 1..n - количество ИН;

 $K_{\mathit{UH}_i}$  - коэффициент качества управления для i - го ИН;

 $\lambda_i$  -весовой коэффициент i -го ИН.

В свою очередь, коэффициент качества управления для i - го ИН рассчитывается согласно выражения:

$$K_{UH_i} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^{L} K_{ij} , \qquad (2)$$

где  $K_{ij}$  - коэффициент j - го свойства процесса управления для i -го ИН;

j=..L - количество рассматриваемых свойств управления.

Вследствие описанного, упорядоченная совокупность операций для решения задачи по оценке возможностей ССв по обеспечению качества управления АвФ, представляющая собой уточненную методику будет состоять из следующих этапов:

- 1.Выбора подсистемы связи (наземной, воздушной).
- 2. Выбора i го направления связи указанной подсистемы связи.
- 3. Выбора весового коэффициента i го направления связи.
- 4. Оценки возможностей ССв на *i* м направлении связи.
- 5. Оценки показателей качества управления на i м ИН.
- 6.Оценки возможностей ССв на всех НСв (при необходимости проведение мероприятий по повышению требуемых показателей).
  - 7.Оценки качества управления АвФ по всем ИН.

Таким образом, предлагаемый подход к разработке методики оценки возможностей ССв по обеспечению качества управления АвФ позволит выполнить ее оценку в случае изменении условий функционирования системы связи, с учетом наличия в ССв абсолютных приоритетов при обслуживании абонентов, а также возможностей средств видовой разведки противника по вскрытию ССв, и на ее основе оценить возможности показателей качества управления АвФ на рассматриваемых ИН.

#### Список использованной литературы

1. Боговик А.В., Игнатов В.В. Теория управления в системах военного назначения: Учебник./ А.В. Боговик, В.В. Игнатов – СПб.: ВАС. 2008.— 460 с.

#### Глушко А.А.

#### КОМПЛЕКСНАЯ ОБУЧАЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ СРЕДА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КУРСА

#### МГТУ им. Н.Э. Баумана

С появлением Интернета, компьютеров, смартфонов и различных переносных микроминиатюрных устройств мотивация студентов на лекциях внимательно слушать и стараться конспектировать материал, вникать в тему лекции начала постепенно падать, и в настоящее время сведена к минимуму. Действительно, все необходимое можно найти в глобальной компьютерной сети. В результате студенты используют лекционное время по своему усмотрению, что стало возможным при массовом распространении мобильных электронных устройств. Ответом на эти изменения было появление новых электронных обучающих технологий, электронной педагогики, эвристического обучения, структурнологических схем и т.п. Курс лекций подготовлен в двух вариантах: электронном текстовом виде и в виде презентаций. Каждая лекция дополнена видеороликами (клиповый вид). Видеоролики делятся на две группы: информационные и методические. В информационных роликах представлены процессы, которые невозможно показать непосредственно. Методические ролики знакомят студентов с некоторыми стратегиями поиска технических решений, с видами и методиками поиска информации и т.п. В ходе учебного процесса широко используются ресурсы Интернета. Раздаточный материал для студентов предполагает использование методики обучения BYOD (BYOD – Bring Your Own Device – принеси свое собственное устройство) и построен с ориентацией на «умные» электронные учебники, в которых содержание адаптировано в зависимости от уровня знаний и потребностей обучаемых. В учебном процессе широко используется также другая продвинутая информационная технология – программы построения структурнологических схем (Mind-Map, C-MapTools и др.). Они 168 обеспечивают системную организацию материала курсов и облегчают понимание и усвоение сложных тем. Для проведения семинарских занятий полезно применять методику, которая предусматривает использование специальных электронных рабочих тетрадей, заданий по модулям изучаемой дисциплины и раздаточного информационного материала по изучаемому курсу. Такой курс легко можно изменять, дополнять и настраивать на аудиторию благодаря электронным технологиям. Раздаточный материал каждый студент может осваивать самостоятельно, получая консультации преподавателя в аудитории либо через электронную почту или скайп. Степень усвоения курса контролируется по выполнению заданий, оцениваемых в баллах. Чтобы преодолеть проблемы, связанные с недостаточной подготовкой контингента, поступающего в такие сложные университеты, как МГТУ им. Н.Э. Баумана, необходимо широко внедрять электронные технологии в обучение, создавать и совершенствовать электронную обучающую среду, которая позволит готовить специалистов, способных успешно работать в самых сложных областях науки и техники.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-06- 00404 а.

#### Гоберкорн Л.Б, Чернышов Н.Г.

#### ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЦИФРОВОГО ТВ СИГНАЛА

Тамбовский государственный технический университет

Цифровизация в настоящее время выведена на первый план задач, поставленных правительством РФ, для обеспечения населения теле-радио контентом, а так же для постоянного информирования населения. Надежность функционирования цифрового телеважнейшей вешания является составляющей обеспечения информационной и национальной безопасности страны. Важным условием ее достижения является использование аппаратуры и оборудования российской разработки, в том числе программного обеспечения, гарантирующего отсутствие программных и аппаратных «закладок», которых возможно осуществлять несанкционированное с помощью на работу системы мониторинга телевизионных сетей. В настоящее время решение для этого вопроса реализовано благодаря автоматизированной системе дистанционного мониторинга качества сети цифрового вещания (СДК). Устройства вещательной сети могут быть подключены к серверу двумя способами.

Первый вариант — когда устройства передают данные непосредственно на центральный сервер. Для передачи данных используются протоколы: SNMP, ICMP, HTTP, SSH, Zabbix Agent Protocol и Zabbix Sender Protocol. Устройства могут работать как в активном режиме, то есть сами посылать данные, так и в пассивном — отвечать на запросы со стороны центрального сервера. Данный вариант подключения может использоваться при наличии хорошего канала связи между сервером и подключенным устройством.

Второй вариант заключается в подключении устройств к серверу через блок дистанционного контроля (СДК). Блок СДК устанавливается на каждом удаленном передающем центре, а к нему подключаются все устройства, установленные на этом центре. Блок СДК собирает данные с подключенных устройств, производит их предварительную

обработку и передает на центральный сервер. Блок СДК разработан специально для мониторинга удаленных передающих центров через сети связи с низкоскоростными неустойчивыми каналами, например VSAT или GPRS.

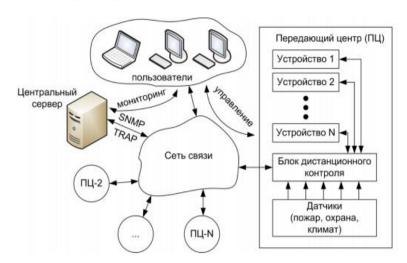


Рисунок 1. - Схема системы мониторинга цифровых передатчиков СДК

Выбор того или иного варианта решения данной задачи принимается в основном исходя из экономических соображений, требований по времени внедрения системы управления и возможности последующей дистанционной отладки программы.

- 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.

Головченко Е.В., Афанасьев А.Д., Першин А.А.

#### ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

**Аннотация:** В статье рассмотрена методика оценки устойчивости авиационной инфокоммуникационной сети.

**Ключевые слова**: сеть связи, показатель эффективности функционирования сети, вероятность связности, риск средних и общих материальных потерь, производительность сети.

В настоящее время устойчивость функционирования инфокоммуникационных сетей связи оценивается вероятностью связности на основе значений коэффициентов готовности и оперативной готовности сетевых элементов [3], 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 [4, 5], но они в свою очередь не позволяют учесть воздействие деструктивных факторов.

Предложенные показатели [4, 5] оценки функционирования сети связи характеризуют в первую очередь технические аспекты функционирования сети и не отражают целенаправленности функционирования сети.

В работе [7] 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, приво-

дит 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 [7]:

$$R = P \cdot G \tag{5}$$

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 физических смысл численных значений.

Для устранения данного недостатка предлагается при оценке устойчивости АИС учитывать не собственные потери надсистемы, а количественно выраженные потери результата функционирования сети, одновременно являющиеся потерями и для надсистемы. В качестве такого показателя предлагается использовать производительность сети.

Под производительностью сети (скоростью передачи данных пользователя) понимается сетевая характеристика, определяемая как эффективная скорость передачи информации от отправителя к ее получателю [6]. То есть данный показатель проявляется наличием у пользователя услуг связи, их количеством и качеством.

Таким образом, предлагаемая методика оценки устойчивости авиационной инфокоммуникационной сети и обоснованный показатель учитывают влияние как внешних, так и внутренних факторов, влияющих на работу сети, а также целенаправленность ее функционирования.

#### Список использованных источников

- 1. ГОСТ Р 53111 2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. – М.: Стандартинформ, 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 C1. 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.

#### Гугуев М.Б.

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Аннотация:** В статье предложены основные направления по совершенствованию информационно-телекоммуникационной сети военного назначения.

**Ключевые слова:** сеть связи; управление; иерархия.

В ходе проведения анализа, проектирования и эксплуатации информационнотелекоммуникационных сетей в системах управления военного назначения был выявлен ряд существенных противоречий между предъявляемыми требованиями к системе связи авиационного формирования и реализацией технических возможностей штатной аппаратурой подразделений связи при ее применении, а именно: нехватка скорости сетевого трафика; построение сетей связи по типу сети «дерево»; перегрев аппаратуры в серверных помещениях; отсутствие необходимого штатного количества специалистов, для решения задач по эксплуатации сетевого оборудования.

Исходя из вышеизложенных проблемных вопросов, можно выделить причинноследственную связь одного от другого, заключающуюся в отрыве личного состава подразделений связи на выполнение задач по восстановлению техники ввиду отсутствия резервного оборудования, и как следствие излишняя нагрузка на штатный личный состав и дежурную смену. Кроме того перегрев аппаратуры в серверном помещении влечет за собой преждевременный выход ее из строя ввиду превышения заявленных заводомизготовителем условий для эксплуатации. Кратко сформулируем основные направления совершенствования информационно-телекоммуникационной сети.

- 1. Для стандартно оснащенного узла связи предлагается определить следующие значения скорости сетевого трафика: телефония 256 кбит/сек; передача данных 512 кбит/сек; видеоконференцсвязь 1024 кбит/сек; итого 1792 кбит/сек \* 2 = 3584 кбит/сек.
- 2. Полносвязное построение сети на участках сети между такими ступенями иерархии подразделений силового ведомства как отдельные подразделения, что обеспечит наличие требуемого уровня связности сети и устойчивость функционирования си-

стемы связи в интересах обеспечения устойчивого управления.

- 3. Замена ИБП свинцово-кислотными аккумуляторными батареями на ИБП с магний-алюминиевыми или графеновыми аккумуляторными батареями, которая функционирует гибко без риска повреждений (выдерживает до 10 циклов деформации) и способна работать в широком диапазоне температур (от -40 до +120  $^{\circ}$ С), что также немаловажно, в условиях высоких температур.
- 4. Внесение изменений в штаты подразделений связи, а именно формирование специализированных рот (информационно-телекоммуникационных рот) в состав которых предлагается включить два взвода (взвод, отвечающий за эксплуатацию серверных (настройка серверов, маршрутизаторов, рабочих мест операторов и т.п), взвод, обеспечивающий обмен данных по видео, аудио каналам связи (цифровые автоматизированные телефонные станции, видеоконференцсвязь, системы видеонаблюдения и т.п.)), а также отделение для обеспечения выездных малогабаритных цифровых комплексов для обеспечения проведения различного рода полевых рекогносцировочных поездок на полигоны, до выхода основных сил полевых компонент подразделений связи.

Таким образом, применение предлагаемых направлений совершенствования информационно-телекоммуникационной сети военного назначения позволят гарантировано обеспечить управление воинскими формированиями при выполнении ими задач по предназначению с требуемым качеством.

- 1. Берлин А.Н. Телекоммуникационные сети и устройства: учебное пособие. Москва: Бином. Лаб. Знаний, 2008 319 с.
- 2. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. Москва: Техносфера, 2003. 512 с.

#### Данилин М.А., Татаринов А.Н.

# НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЧАСТОТНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЫ АВИАЦИОННЫХ ФОРМИРОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ

Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В настоящее время проблемы обеспечения радиосвязи авиационных формирований в декаметровом диапазоне (ДКМВ) связаны не только с дефицитом частотного ресурса, готовностью радиосредств и уровнем подготовки операторов, а в большей степени с радиоэлектронным воздействием противника. Силы и средства радиоэлектронного подавления (РЭП) постоянно совершенствуются, противник принимает на вооружение роботизированные комплексы, в качестве помех сложные радиосигналы и даже искусственный интеллект.

Из открытых источников [1] и информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» известно, что технически развитые государства исследуют воздействие на ионосферу с целью изменения условий распространения радиоволн, это может быть «накачка» ионосферы мощным сверхвысокочастотным излучением, создание искусственных неоднородностей (зеркал) и др. Направлениями исследований являются создание благоприятных условий для обеспечения своей радиосвязи в определенных районах и затруднения информационного обмена противоборствующей стороне.

В прогнозируемых условиях радиоэлектронного противодействия противника осуществление бесподстроечной радиосвязи на фиксированных частотах в ДКМВ диапазоне между пунктами управления (ПУ), ПУ и экипажами воздушных судов, по мнению авторов, представляется маловероятным.

Одним из направлений совершенствования частотно-диспетчерской службы можно рассматривать применение программно-ориентированного радио (SDR технологии), ко-

торое позволяет визуально оценивать широкий участок спектра и контролировать работу на излучение радиосредств в режиме реального времени [2].

Устройства на базе SDR технологий позволяют в разы сократить продолжительность разработки прогноза при вертикальном и наклонном зондировании ионосферы, а также открывает возможности обработки (применения) линейного частотно модулированных сигналов.

На практике радиотелефонисту (телеграфисту) будет почти невозможно по встроенным приборам радиоприемника и на слух определить наличие преднамеренных помех и вообще осуществляется РЭП противником или имеется неисправность аппаратуры. SDR приемник со средствами индикации позволяет визуально определить наличие преднамеренных помех на рабочих частотах и соответственно принимать меры по радиоэлектронной защите радиолиний.

Таким образом, в современных условиях технически развитого вооруженного противоборства обеспечение качественной радиосвязи в ДКМВ диапазоне не возможно без организации частотно-диспетчерской службы на узлах связи авиационных формирований. Одним из направлений совершенствования является применение SDR технологий, которая позволяет оценивать занятость частот в широкой полосе, оперативно контролировать работу своих радиостанций, прогнозировать радиоэлектронную обстановку в районе узлов связи, выявлять преднамеренные помехи.

- 1. Информационные, специальные, воздушно-десантные и аэромобильные операции армий ведущих зарубежных государств: Информационно-аналитический сборник / А.Н. Сидоркин, И.А. Рябенко, В.П. Герасимов. М.: Воениздат, 2011. 344 с.
- 2. Связь в Вооруженных силах Российской Федерации 2020. М.: «Информационный мост», 2020. 250 с.

#### Дмитриев О.С. Барсуков А.А.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ОТВЕРЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Тамбовский государственный технический университет

**Аннотация:** В этой статье рассмотрена целесообразность и возможность моделирования кинетических характеристик процесса отверждения полимерных композитов на основе применения искусственных нейронных сетей.

**Ключевые слова:** кинетические характеристика, полимерные композиты, нейронные сети.

Для определения кинетических характеристик процесса отверждения полимерных композитов известны методы и математические модели аппроксимации [1]. Однако только часть из этих моделей может описать и предсказать значение кинетической функции ф для определенного режима отверждения ПК.В целях оптимизации работ по моделированию кинетики предлагается использовать нейронные сети (НС).

Для математического моделирования процесса отверждения полимера, необходимо аппроксимировать кинетическую функцию $\phi(\beta)$  в пределах изменения степени отверждения  $\beta$  от 0 до 1, а так же определить энергию активации. Обычно, функция кинетики, определяется по одной из приведенных в таблице 1 моделей.

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	

rдеm, n — порядок химической реакции,  $\kappa$  — константа скорости химической реакции[2].

Таким образом, для определения наиболее подходящей к конкретному процессу отверждения, модели, предлагается использовать нейронную сеть построенную в

программной среде Matlab. В результате работы была построена HC, с помощью которой был осуществлен полный перебор значений степени отверждения  $\beta$  от 0 до 1 с шагом в 0,01 и получена зависимость степени отверждения  $\beta$  от  $\ln \phi(\beta)$  (рис. 1), определены значения кинетической функции. Сравнивая результаты работы HC с экспериментально полученными данными, оказалось, что HC точно прогнозирует изменение значений кинетической функции при  $\beta$ > 0,1. [3].

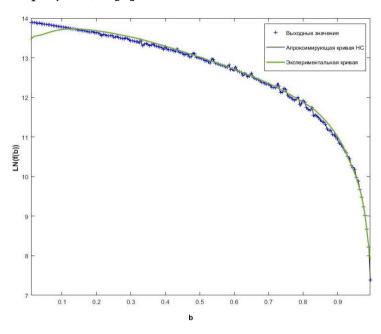


Рисунок 1. Результаты моделирования кинетической функции

- Advanced integral isoconversional analysis for evaluating and predicting the kinetic parameters of the curing reaction of epoxy prepreg / M. Vafayan [etc.] // ThermochimicaActa. - 2013. - T. 557. - C. 37–43.
- 2. Дмитриев, О. С. Исследование кинетики отверждения полимерных композитов калориметрическим методом / О. С. Дмитриев, А. А. Барсуков // В сборнике: Информационносенсорные системы в теплофизических исследованиях: XI Международная теплофизическая школа. 2018. С. 238-241.
- 3. 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

Дмитриевцев А.Ю.\*, Кудряшов М.А.\*\*, Тетюхин В.И. \*\*\*

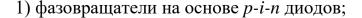
## МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОЛУЧЕВЫХ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ В АДАПТИВНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМАХ

- \* Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов,
- \*\* Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов,
- \*\*\* Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов,

С каждым днем адаптивные антенные решетки все больше используются в различных системах, все сильнее вытесняя простые антенны. Это связано с большим количеством преимуществ, по сравнению с простыми антеннами.

Важнейшими конструктивными составляющими любой адаптивной антенной системы являются управляющие устройства, в задачу которых входит управление фазой (иногда амплитудой) волн, распространяющихся в цепях антенны (рисунок 1) [1].

Основой управляющего устройства служит материал, электродинамические параметры которого изменяются под воздействием приложенного к нему магнитного или электрического поля, или под воздействием протекающего через него тока. Очевидно, что скорость изменения управляющих напряжений или токов гораздо меньше скорости изменения СВЧ поля, хотя интервал времени, в течение которого должно измениться состояние управляющего устройства, измеряется, как правило, единицами или долями микросекунды. Существует несколько типов устройств управления фазой:



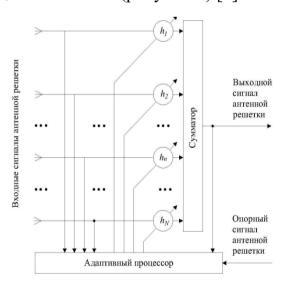


Рис. 1 Обобщенная структурная схема адаптивной антенной решетки

- 2) фазовращатели на полевых транзисторах;
- 3) микроэлектромеханических структуры (МЭМС);
- 4) фазовращатели на основе намагниченного феррита;
- 5) сегнетоэлектрические фазовращатели и бездисперсионные линии задержки [2].

Большинство управляющих устройств являются устройствами дискретного действия. Однако возможно применение и устройств с непрерывным изменением управляемой характеристики. Такими устройствами были первые ферритовые ФВ, в которых фазовый сдвиг волны был аналоговым способом связан с напряжённостью управляющего магнитного поля. Полезное действие управляющего устройства неизбежно связано с некоторым затуханием волны, прошедшей через управляющее устройство. Поэтому важнейшей характеристикой управляющего устройства является его качество, которое характеризует соотношение между полезным действием устройства и вносимыми им потерями в СВЧ цепи, например отношение фазового сдвига к потерям, измеренное в град/дБ.

В результате исследования методов управления фазой, можно сделать вывод, что наиболее простым в реализации, является метод с использованием линий задержки, данный способ оптимальным образом позволяет осуществить изменение диаграммы направленности в адаптивных антенных решетках, что позволит получить хорошее качество сигнала, передаваемого пользователю, так как при нахождении абонента в зоне покрытия сигнала, создается устойчивый канал связи, благодаря чему, вне зависимости от нахождения абонента, ему будет поставляться сигнал с достаточной мощностью для связи [3].

- 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

#### Доронина Е.А., Фирсов А.А., Жалнин В.П.

#### АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МЕМРИСТОРНОЙ ПАМЯТИ

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана

Для многих электронных устройств снижение энергопотребления влечет за собой либо потерю функциональности, либо потерю производительности. Однако для нагруженных вычислительных систем такое поведение нежелательно и часто невозможно. Решение проблемы можно искать в мемристорной памяти. Мемристор — сравнительно новый пассивный элемент в микроэлектронике, вольт-апмерная характеристика которого обладает ярко выраженной петлёй гистерезиза, благодаря чему одно и то же напряжение может соответствовать двум и более различным значениям тока. Из-за этого свойства мемристоров, можно говорить о явлении мемристорной памяти

Предпочтительная схема памяти на мемристорных ячейках — это взаимно перпендикулярная структура, в которой горизонтальные ряды и вертикальные столбцы из тонких металлических проводников, разделены тонким, частично легированным слоем оксида металла [1]. Таким образом, мемристор формируется в каждой точке, где столбец пересекает ряд. Каждый бит в памяти адресуется индивидуально, выбирая соответствующую комбинацию проводников столбца и строки. Сигнальный импульс, приложенный к этим проводникам, может записывать информацию, устанавливая резистивное состояние соединения оксида металла. Более поздний и меньший по амплитуде импульс на той же паре проводников считывает записанную информацию путем измерения сопротивления. Данная резистивная память при выключении питания помнит свое состояние и не требовать повторной загрузки информации при включении [2, 3].

Теоретически быстродействие мемристорной памяти может быть на несколько порядков выше, чем обычная FLASH-память[2].

Выделим самые актуальные варианты развития в разработке мемристорной памяти:

– компания HP объявила о сотрудничестве с компанией Hynix Semiconductor of Korea [4], чтобы заняться коммерческой разработкой резистивной оперативной памяти (ReRAM).

- компания Panasonic Japan выпустила пресс-релиз [5], в котором описывается объединение микропроцессоров с энергонезависимой мемристорной памятью.
- мемристоры фирмы Knowm успешно прошли четыре года испытаний [6]. Это показало, что мемристоры на базе оксидов металлов обладают достаточным временем наработки на отказ.
- изобретение оптического транзистора приводит к прорыву в создании мемристорно-фотонного интерфейса, упрощая проектирование и изготовление универсальных мемристорных нейросетевых процессоров [3].

Таким образом, применение мемристорной памяти может значительно снизить энергопотребление электронного оборудования.

Отдельные результаты исследований получены в рамках Гранта РФФИ №19-07-00463.

- 1. Strukov, Dmitri B., et al. «The missing memristor found.» // Nature 453.7191: С. 80-83. // международный общенаучный журнал 2008. Режим доступа https://www.nature.com/articles/nature06932/ (18.04.2020)
- 2. Vlasov A.I., Zhalnin V.P., Shakhnov V.A. Methods for improvement of theconsistency and durability of the inorganic memristor structures //International Journal of Nanotechnology. 2019. T. 16. № 1-3. C. 187-195.
- 3. Власов А.И., Жалнин В.П., Шахнов В.А., Алябьев И.О. Возможности применения перспективной нейросетевой элементной базы на основе неорганических мемристоров // Нейрокомпьютеры и их применение XVII Всероссийская научная конференция. Тезисы докладов. Москва. 2019. С.242-245.
- 4. Р. Колин Джонсон "StartupBeatsHP, HynixtoMemristorLearning" [Электронный ресурс] / Р. Колин Джонсон // EE Time: международный электронный журнал 2015. Режим доступа <a href="https://www.eetimes.com/">https://www.eetimes.com/</a> (18.04.2020).
- 5. "Panasonic Starts World's First Mass Production of ReRAM Mounted Microcomputers" [Электронный ресурс] // News.panasonic.com: официальный сайт Panasonic 2013. Режим доступа https://news.panasonic.com/global/press/data/2013/07/en130730-2/en130730-2.html#about\_p (18.04.2020).
- 6. "Knowm Memristors" [Электронный ресурс] // Knowm.org: официальный сайт компании Knowm.inc 2019. Режим доступа https://knowm.org/memristors (18.04.2020).

Дорохова Т.Ю. $^{1}$ , Калашников С.Н. $^{1}$ , Толстых С.В. $^{2}$ 

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ<br/> ПРИ ПОЛУПАССИВНОМ САМОНАВЕДЕНИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет
<sup>2</sup> «НИЦ ЦНИИ ВВС» (г. Щелково)

**Аннотации:** в статье приведены уравнения для мощностей сигналов и дальностей применения полуактивного и полупассивного способов самонаведения подвижных объектов.

Ключевые слова: мощность сигнала, самонаведение, дальность применения.

Многие подвижные объекты (ПО), такие, например, как самолеты, корабли, автомобили и пр., оборудуются бортовыми радиолокационными информационными системами (РИС), позволяющими получать сведения об окружающей обстановке. Бортовые РИС применяются также для самонаведения, т.е. сближения ПО с каким-либо объектом, называемым целью. Важной характеристикой РИС ПО является пространственная область применимости, в частности дальность информационного контакта с целью [1]. Наибольшей дальностью в настоящее время обладает полуактивный способ (ПАС) самонаведения ПО. В [2] предложен способ полупассивного самонаведения (ППС) ПО, одной из отличительных особенностей которого является повышенная дальность информационного контакта с целью, оборудованной станцией постановки активных помех (САП). Сущность способа ППС заключается в провоцировании САП на излучение помеховых сигналов с желаемыми параметрами с последующим использованием помеховых сигналов для самонаведения ПО.

Мощность принимаемых сигналов и дальность контакта с целью при ПАС самонаведения ПО определяется в соответствии с уравнениями [3,4]:

$$P = \frac{P_{t}GA_{r}\sigma F^{4}}{(4\pi)^{2}R_{t}^{2}R_{r}^{2}} \qquad \qquad D = \sqrt[4]{\frac{P_{t}GA_{r}F^{4}}{(4\pi)^{2}P}}$$

где  $P_rP_t$  — мощности принимаемого и излучаемого сигнала соответственно;  $G_r$   $A_r$  — коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;  $\sigma$  — эффективная площадь рас-

сеяния объекта локации; F — коэффициент потерь при распространении сигналов;  $R_t$ ,  $R_r$  — расстояние от передающей антенны до объекта локации и расстояние от объекта локации до приемной антенны.

Мощность принимаемого радиосигнала (помехи) в случае ППС, а также дальности по каналу «запроса» и каналу «ответа» определяется в соответствии с уравнением противорадиолокации [18]:

$$P_r = \frac{P_t G A_r \sigma F^4}{(4\pi)^2 R_r^2} \qquad \qquad D_t = \sqrt{\frac{P_t G A_r}{4\pi P_{r \min}}} \qquad \qquad D_t = \sqrt{\frac{P_{\hat{t} \hat{o} \hat{a}} G_{\hat{t} \hat{o} \hat{a}} A_r}{4\pi P_{r \min}}}$$

где  $P_{r \ min}$ ,  $P_{ome}$ ,  $G_{ome}$  — соответственно минимальная мощность воспринимаемого сигнала, мощность и коэффициент усиления излучающей аппаратуры САП.

Из данных уравнений видно, что мощность откликов для ПАС и ППС способов обратно пропорциональны четвертой и второй степени расстояния до цели. Это является причиной весьма существенного преимущества ППС по важной характеристике — дальности применения ПО.

Статья подготовлена при поддержке РФФИ, грант № 20-08-00091-а.

- 1. Меркулов В.И. Многопозиционные радиолокационные системы управления. Возможности и ограничения // Радиотехника. -2013, № 1.-C.69-72.
- Патент № 2181869 РФ. Способ полупассивного самонаведения управляемых ракет класса "воздух - воздух" с радиолокационной головкой самонаведения: / Павлов В.И., Маштак А.А., Зайцев Д.В. // Гос. реестре изобретений РФ 27.04.2002 г. Бюл. № 12.
- 3. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Под ред. М.Ю.Перунова. М.: Радиотехника. 2003. 416 с.
- 4. Павлов В.И., Артемова С.В., Дорохова Т.Ю., Аксенов В.В. Энергетические соотношения при действии активных помех на радиолокационные информационные системы подвижных объектов // Вестник ТГТУ. 2020. Т.26. №2. С.211-219.

#### Залукаева Н.Ю.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ ПОСТАВКОЙ ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ КОНЕЧНОМУ ПОТРЕБИТЕЛЮ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

**Аннотация:** В статье рассматриваются возможности и особенности применения информационных технологий в сфере бесперебойного снабжения потребителей топливными пеллетами.

**Ключевые слова:** информационная технология, топливные пеллеты, поддержка принятия решений.

Информационные технологии проникли во все сферы человеческой жизни. Всеобщая информатизация продиктована большими массивами информации, которые необходимо обрабатывать и анализировать для принятия оптимальных управленческих решений. Большим потоком информации сопровождается и деятельность, связанная с организацией процессов транспортировки, в том числе в сфере обеспечения бесперебойных поставок топливных пеллет энергозависимым предприятиям.

Перед потребителем биотоплива стоит задача обработки больших информационных массивов, из которых необходимо выбрать актуальную информацию и выработать, на её основе, оптимальное решение по выбору поставщика, перевозчика, объема разовой поставки, качеству и стоимости продукта и т.д. В данной системе потребитель выступает в качестве лица принимающего решения. Для сокращения трудозатрат, временных затрат, ускорения процесса принятия оптимального решения и снижения вероятности принятия ошибочного решения по снабжению предприятия (организации) топливными ресурсами, рационально внедрение информационной технологии планирования и управления бесперебойной поставкой топливных пеллет от производителя до конечного потребителя.

Построение информационной технологии планирования и управления поставками биотоплива должно базироваться на следующих принципах:

- наглядности (иметь удобный и понятный пользовательский интерфейс);
- интегрируемости (иметь возможность обмена данными с другими программными продуктами пользователя);
- расширяемости (предоставлять возможность постоянного пополнения и корректирования базы данных);
- оперативности (быть готовой и способной к решению поставленных задач в любой временной момент).

Из большинства известных и описанных многими учеными информационных технологий наиболее подходящей для решения поставленных задач является технология принятия решения. Данная технология состоит из двух компонентов: системы поддержки принятия решения, которая включает в себя объект управления и вычислительный комплекс, а также непосредственно человека (лица принимающего решения), который вносит информацию в базу данных и оценивает полученный результат.

Интегрированная информационная технология планирования и управления поставками, объединяющая базы данных поставщиков и потребителей топливных пеллет позволит оптимально построить процесс бесперебойного снабжения потребителей топливными ресурсами [1].

Исследование выполнено при финансовой поддержке  $P\Phi\Phi U$  в рамках научного проекта N 20-37-90056.

#### Список использованной литературы

1. Залукаева, Н.Ю. Концепция информационно-управляющей системы процессом транспортировки биотоплива / Н.Ю. Залукаева, А.А. Гуськов // Энергосбережение и эффективность в технических системах: Материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. — Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2019. — С.109-111.

3ебрева М.М. $^{1}$ , 3ырянов Ю.Т. $^{2}$ 

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ СВЯЗИ

<sup>1</sup>ФГАОУВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (г. Москва),

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (г. Тамбов)

Аннотация: в статье представлены свойства оценки надежности систем связи.

Ключевые слова: методика оценки, надежность, узел электросвязи.

Стремительное развитие области инфокоммуникационных технологий и необходимость удовлетворения постоянно растущих потребностей абонентов привели к необходимости интеграции разнородных сетей в общую единую мультисервисную инфокоммуникационную сеть связи, предоставляющую пользователям разнообразный спектр услуг.

С каждым днем происходит усложнение схемотехнических решений построения узлов электросвязи (УЭС) и входящего в их состав оборудования ведет к повышению требований по его надежности. В настоящее время в научно-технической литературе надежность выделяется как один из сложных и основных показателей качества функционирования УЭС. Составляющими показателями надежности являются: безотказность, долговечность, ремонтопригодность.

При построении модели надежности УЭС предполагается, что его элементы, как и весь узел, могут находиться только в одном из двух возможных состояний работоспособном или неработоспособном. Работоспособность УЭС — это его состояние, при котором он способен выполнять свое целевое предназначение с параметрами, установленными требованиями эксплуатационно-технической документации, в течение расчётного срока службы.

Рассмотрим подсистему связи и передачи данных (ПСПД) содержащую скоростной модем, маршрутизатор и цифровой не резервируемый канал связи. В случае отказа обо-

рудования цифрового канала, его функции резервируются коммутируемым каналом связи, включающем не резервируемый модем и не резервируемый канал связи до узла среднего уровня. Тогда коэффициент готовности для ПСПД с цифровым каналом связи определяется по формуле:

$$K_{\Gamma\Pi\text{C}\Pi\text{Z}H,Y,2} = 1 - ((1 - (K_{\Gamma\text{KC}}K_{\Gamma\text{C}ISIO} K_{\Gamma\text{C}MO\text{Z}EM})) \cdot (1 - (K_{\Gamma\text{KKC}} K_{\Gamma\text{MO}\text{Z}EM}))),$$

где Кг кс — коэффициент готовности цифрового канала связи, Кг сізсо — коэффициент готовности маршрутизатора, Кг смодем — коэффициент готовности скоростного модема, Кг ккс — коэффициент готовности коммутируемого канала связи, Кг модем — коэффициент готовности модема.

Определим отказ для одного канала цифровой связи. Отказом будем считать выход из строя резервируемой группы ПТС цифровой связи (отказ цифрового канала связи, или маршрутизатора, или скоростного модема) и группы ПТС резервной аналоговой связи (выход из строя модемного канала связи, или выход из строя модема).

Оценим общую надежность ПСПД между узлами нижнего и среднего уровня. Для этого необходимо ввести весовые коэффициенты, отражающие процентное соотношение (например, процент обслуживаемых избирателей) ПСПД КСА нижнего уровня с цифровыми каналами связи и модемными каналами связи.

Надежность ПСПД КСА нижнего уровня отражена в следующей формуле:

$$\mathbf{K}_{\Gamma\Pi\Pi\Pi\Pi,\mathbf{y}.} = C_1 \cdot K_{\Gamma\Pi\Pi\Pi,\mathbf{y}.1} + C_2 \cdot K_{\Gamma\Pi\Pi\Pi,\mathbf{y}.2}$$
,

где C1 — процент избирателей, обслуживаемых с помощью модемных каналов связи; C2 — процент избирателей, обслуживаемых с помощью цифровых каналов связи.

- 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. Чернышова Т.И. Метрологическая надежность средств неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий. Автореферат. Тамбов. Издательство ТГТУ, 2002.
- 3. Цифровая трансформация в энергетике. Материалы Всероссийской научной конференции. Изд-во: ТГТУ (Тамбов), 2020, с. 209-212

#### Казаков В.В., Нажмутдинова К.А.

### ТЕХНОЛОГИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ КОМПОНЕНТОВ В КОРПУСЕ

#### МГТУ им. Н.Э. Баумана

Один из возможных путей анализа проблемы проектирования радиационностойкой аппаратуры - применение технологий виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR) (AR / VR) для визуализации альтернативных проектных решений. В настоящее время инструменты AR / VR могут быть реализованы для мобильных устройств (операционные системы Android и iOS) и для компьютеров (операционные системы Windows, Linux и MacOS). Наиболее удобным решением для эффективной реализации дополненной реальности являются смартфоны и шлемы AR, такие как HoloLensMicrosoft и MagicLeapOne. Однако, из-за дорогостоящего процесса интеграции шлемов VR, инструменты для смартфонов являются наиболее перспективными.

В докладе обсуждается возможность связи маркеров (компьютерное изображение, фотография или бумажное изображение) реального мира с 3D объектом дополненной реальности с целью подобрать необходимое размещение компонента в корпусе. Разработанная система позволяет интерактивно выбрать такое расположение элементов, чтобы ближе к центру располагать менее стойкие к излучению микросхемы, чтобы минимизировать пагубное влияния, а дальше - более стойкие. Таким образом, разработанное программное обеспечение помогает найти расположение СБИС в корпусе и подобрать конфигурацию, при которой каждая микросхема будет работать более стабильно в условиях спецвоздействий.

Для учета влияния излучения на конкретную микросхему, пользователь должен указать максимальный флюенс.

Для демонстрации влияния излучения на СБИС был выбран цветовой подход визуализации. Предложенная передаточная функция позволяет наглядно показать влияние излучения на микросхему. Цвет 3D объекта виртуальной реальности, который соответствует реальной микросхеме в жизни, задается в формате RGB (red-green-blue).

В докладе предлагается использование только двух составляющих (красной и зеленой) - градиент от двух цветов будет легче восприниматься и информация будет быстрее обрабатываться человеческим мозгом по аналогии со светофором (красный - микросхема повреждена, зеленый - микросхема работает в нормальном режиме). Каждое значение текущего флюенса в диапазоне от нуля до максимальной значения для данной микросхемы рассчитывается до значения в диапазоне от RGB = <0,1,0> (зеленый) до RGB = <1,0,0> (красный). Зеленому цвету соответствует значение флюенса, равное нулю, а красному цвету - максимально возможное значение. Полученные цветовые схемы различных конфигураций расположения микросхем внутри корпуса космического аппарата легко анализируются визуально. На основе визуального анализа проектировщиком выбирается необходимое размещение элементов в условиях спецвоздействий.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 18-29-18043 мк

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

# ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИРЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСЛОЙНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ СИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Эффективность многослойных диэлектрических покрытий определяется их электрофизическими и геометрическими параметрами (ЭФГП). К важнейшим относятся относительные диэлектрические проницаемости  $\varepsilon_n,...,\varepsilon_N$  и толщины слоёв материала  $t_n,...,t_N$ , N-число слоев покрытия.

В [1] развит подход к реконструкции ЭФГП многослойных диэлектрических покрытий, основанный на использовании в информативных целях коэффициента ослабления поля поверхностных электромагнитных волн СВЧ диапазона  $\alpha(f_k, \xi)$ ,  $\xi = \{\varepsilon_n, ..., \varepsilon_N, t_{N+1}, ..., t_{2N}\}$  — искомый вектор ЭФГП, измеренного на сетке дискретных частот  $f_k, k=1, 2, ..., L$  — число частот измерений.

Для оценки точности реконструкции ЭФГП многослойных диэлектрических покрытий в зависимости от значений этих параметров, уровня шума измерительных данных и ширины полосы частот измерений разработана имитационная модель реального измерительного комплекса [1], структурная схема которой приведена на рисунке 1.

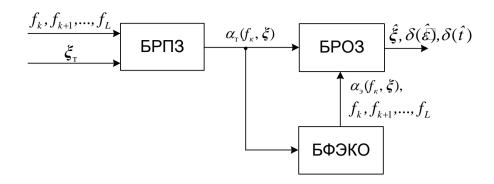


Рисунок 1 – Структурная схема имитационной модели

В комплекс входят три блока: блок решения прямой задачи БРПЗ, позволяющий определять теоретические значения  $\alpha_{_{\rm T}}(f_k,\xi)$  коэффициентов ослабления поля для частот  $f_k$ , k=1, 2, ..., L, и вектора ЭФГП  $\xi = \{\varepsilon_n,...,\varepsilon_N,\ t_{N+1},\ ....,\ t_{2N}\}$ ; блок формирования экспериментальных значений  $\alpha_{_{\rm S}}(f_k,\xi)$ , k=1, 2, ..., L, коэффициентов ослабления БФЭКО, имитирующий абсолютные погрешности  $\Delta\alpha(f_k,\xi)$  измерений коэффициента ослабления поля; блок решения обратной задачи БРОЗ, реализующий нахождение минимума целевой функции:

$$\boldsymbol{\xi} = \underset{\boldsymbol{\xi} \in \boldsymbol{\xi}_{\text{MOH}}}{\min} \rho(\boldsymbol{\xi}) = \sum_{k=1}^{L} \left[ \alpha_{s}(f_{k}, \boldsymbol{\xi}) - \alpha_{T}(f_{k}, \boldsymbol{\xi}) \right] / \alpha_{T}(f_{k}, \boldsymbol{\xi})^{2} + \dots$$

$$\dots + \varpi \sum_{i}^{2n} q_{i} \left\| (\boldsymbol{\xi}_{i} - \boldsymbol{\xi}_{i0}) \right\|^{2},$$

$$(1)$$

где  $\rho(\underline{\xi})$  – расстояние между значениями  $\alpha_{_3}(f,\xi)$  и  $\alpha_{_T}(f,\xi)$  в области допустимых значений  $\xi \in \xi_{_{\text{доп}}}$ ;  $q_i$  – вес, определяющий степень априорной информации о каждой составляющей вектора ЭФГП;  $\xi_i$  – i-я составляющая вектора ЭФГП;  $\xi_{i0}$  – найденное с учётом априорной информации о составляющей среднее значение i-й составляющей вектора ЭФГП из области допустимых значений  $\xi_{i0} \in [\xi_{i\min}, ..., \xi_{i\max}]$ .

В блоке БРПЗ рассчитываются теоретические значения коэффициентов ослабления  $\alpha_{_{\mathrm{T}}}(f,\xi_{_{\mathrm{T}}})$  многослойного диэлектрического покрытия путём решения дисперсионного уравнения по известному вектору ЭФГП  $\xi = \{\varepsilon_n,...,\varepsilon_N,\ t_{N+1},\ ...,\ t_{2N}\}$  на частотах  $f_k,\ k=1,\ 2,\ ...,\ L\ [1]$ :

$$D\left[\alpha_{\scriptscriptstyle T}\left(f_k,\,\underline{\xi}\right);\,f_k\right]=0. \tag{2}$$

Разработанная имитационная модель позволяет оценивать точность реконструкции ЭФГП многослойных диэлектрических покрытий многочастотным радиоволновым методом поверхностных электромагнитных волн. В модели учитываются значения ЭФГП покрытия, уровень шума в измерительных данных и ширина полосы частот измерений.

#### Список использованной литературы

 Казьмин, А.И. Восстановление структуры электрофизических параметров многослойных диэлектрических материалов и покрытий по частотной зависимости коэффициента ослабления поля поверхностной электромагнитной волны / А.И. Казьмин, П.А. Федюнин // Измерительная техника. – 2019. – № 9. – С. 39–45.

#### Кирюпин М.М.

## ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ АНТЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО БАРЬЕРА ОТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

В настоящее время, приреализации эффективных систем предназначенных для противодействия незаконному проникновению на территорию, ведению фото-видео съёмки, а так же в целях промышленного или бытового шпионажа с применением беспилотных летательных аппаратов, требуются высокоэффективные антенные системы.

При построении данных антенных комплексов необходимо учитывать, что беспилотные летальные аппараты, гражданского типа, работают в широком диапазоне частот, варьируемом от 443 МГц до 5,8 ГГц.Следовательно, данные антенные системы должны обладать широкополосностью, для создания необходимого подавляющего сигнала за счёт формирования диаграммы направленности нужного типа и формы.

Так как ни одна антенна, в одиночном исполнении, не обладает нужными характеристиками для покрытия указанного частотного диапазона, данные антенные системы необходимо выполнять в виде фазированной антенной решётки и её разновидностях: активной, адаптивной и тд [1].Данное решение позволит формировать диаграммы направленности как остронаправленного, так и кругового типа, в зависимости от ситуации и окружающей помеховой обстановки. Помимо этого, данное решение позволит расширить функционал данного антенного комплекса, позволив ему не только формировать подавляющий сигнал, но и служить, части комплекса,в виде приёмного устройства для обнаружения летательных аппаратов, параллельно совершая его подавление.

Анализируя существующие на рынке решения, предлагаемые производителями для данных комплексов, можно увидеть, что чаще всего антенная система выглядит следующим образом [2]. Построена кольцевая антенная решётка, включающая в себя шесть антенных элементов, которые чаще всего, представляются в виде плоских антенных решёток, выполненных на основе антенн патч-антенн в различном микрополосковом исполнении.

Для повышения эффективности работы системы в широкополосном диапазоне так же можно применять двух-уровневую антенную решётку, в которой весь используемый частотный диапазон будет поделён на несколько частей, между двумя типами антенн, каждая из которых будет иметь наиболее качественный характеристики в своём диапазоне. Например, применяя в частотном диапазон с 443 МГц до 1,2 ГГц логопериодические антенны мы значительно повысим коэффициент усиления в данном диапазоне, вследствие чего повыситься эффективность подавляющего сигнала в данном диапазоне частот. Таким же образом применяя,щелевые или микрополосовые антенны, хорошо зарекомендованные себя в высоком диапазоне частот, мы получим так же улучшенные характеристики системы, в сравнении с тем, если бы один тип антенн отвечал за весь частотный диапазон одновременно.

Таким образом, применение высокоэффективных антенных систем для создания пространственного барьера от беспилотных летательных аппаратов должны обладать способностью работать в широкой полосе частот, формировать диаграмму направленности нужной формы в имеющийся помеховой обстановке, а так же иметь не большие габариты.

#### Список использованных источников

- 1. Зырянов Ю. Т., Федюнин П. А., Белоусов О. А. и др. Антенны: учебное пособие 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: 10.10.2020).
- 2. Системы обнаружения БЛА. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://antidron.pro/katalog/obnaruzhenie-bespilotnikov-sled (дата обращения 10.10.2020).

Колодин В.И., Баранов Р.А., Девятов С.В.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ ПО ЭТАПАМ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕТА

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

**Аннотация:** в материалах отражен вариант выбора показателей оценки требований к системе радиотехнического (РТО) обеспечения при создании эффективной системы РТО на различных этапах полета.

**Ключевые слова:** безопасность, своевременность, достоверность системы *PTO*, имитостойкость, разведзащищенность.

В статье представлен подход к выбору показателей оценки эффективности качества радиотехнического обеспечения полетов по этапам выполнения полета, характеризующих качество обеспечения полетов государственной авиации [1]. Определение показателей оценки эффективности качества радиотехнического обеспечения полетов является задачей сложной и многоуровневой, от правильного выполнения которой зависит оценка радиотехнического обеспечения государственной авиации.

Эффективность связи и РТО (С и РТО) полетов можно оценить группой основных показателей, свойственных информационному обмену, это: достоверность, своевременность и безопасность[2].

Достоверность С и РТО – это способность системы С и РТО обеспечивать воспроизведение передаваемых сообщений в пунктах приема с заданной точностью, а также требуемую точность самолетовождения. Количественным значением достоверности С и РТО является вероятность того, что число ошибок в сообщении не превысит допустимое

Своевременность С и РТО – это способность системы С и РТО обеспечивать прохождение всех видов информации в установленные сроки или в реальном масштабе времени. Своевременность С и РТО возможно оценить временем нахождения сообщений определенного вида в информационной системе, которое складывается из времени прохождения сообщения по каналу в системе С и РТО и времени дополнительных (вспомогательных) операций.

Безопасность характеризует способность системы С и РТО противостоять несанкционированному получению информации, а также воздействиям противника на элементы С и РТО.

Для оценки безопасности передаваемой информации используется понятия иммитостойкости и разведзащищенности. Иммитостойкость С и РТО — это способность системы С и РТО противостоять вводу ложной, в том числе и ранее переданной, информации и навязыванию ложных режимов работы. За показатель иммитостойкости принимают вероятность отсутствия не достоверной (ложной) информации в информационной системе [3].

Информация, передаваемая в системе управления, обладает оперативной значимостью определенное время, после истечения которого она становится бесполезной, за показатель разведзащищенности информационной системы, как принимают вероятность того, что время вскрытия информации окажется не меньше допустимого.

Таким образом, общим показателем оценки эффективности С и РТО понимается вероятность обеспечения информацией в системе С и РТО с заданным качеством (достоверностью, своевременностью и безопасностью) при выполнении каждой задачи системой С и РТО ( $F_{CPTO}$ ).

Представленный подход к выбору обобщенного, общего и частных показателей оценки эффективности С и РТО позволит обеспечить более оперативное, качественное и обоснованное принятие решения на организацию С и РТО.

- 1. Федеральные авиационные правила «Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь». М.: ЦАИ ГА, 2007. 115 с.
- 2. Словарь войск связи Вооруженных сил Российской Федерации. М.: Воениздат, 2008. 213 с.
- 3. Ивануткин А.Г., Данилин М.А., Пресняков М.Ю. Подход к выбору показателей эффективности связи и радиотехнического обеспечения полетов авиации // Труды МАИ. 2016 № 86.

#### Колодина А.А., Чернышов Н.Г.

#### ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Тамбовский государственный технический университет

В большинстве случаев современная система энергосбережения является сложной распределенной структурой и включает в себя один или несколько управляющих контроллеров, систему разнородных датчиков, средства ввода-вывода информации, средства удаленного доступа и др. Предоставленная структура может меняться в зависимости от решаемых задач, в систему могут добавляться новые объекты или исключаться прежние. В случае подобных изменений должна сохраняться экономическая эффективность системы, а расходы, связанные с изменениями должны быть минимальны. Решить эту проблему позволяют возможности современных технологий беспроводной связи, в частности технология ZigBee [1].

Наиболее подходящей совокупностью настроек программного обеспечения узлов сети ZigBee для системы энергосбережения, обеспечивающих их совместную работу является профиль Smart Energy, ориентированный на учет энергоресурсов. В сочетании с внутрисистемным контролем позволяет дополнительно осуществлять мониторинг энергорефективности объектов сторонними средствами, например средствами учета энергосбытовых компаний. Беспроводные контроллеры ZigBee осуществляют подключение к сети модульных управляющих контроллеров, реализующих алгоритмы энергосберегающего управления, а также общее управление объектами.

Так же в составе сети имеются беспроводные операторские панели, которые позволяют оперативно исправлять режимы работы объектов. В целях оперативного мониторинга и контроля потребляемой энергии также организована беспроводная связь со средствами учета расхода энергии.

Для централизованного управления предусмотрена вероятность объединения данной программно - аппаратной платформы в промышленную сеть Ethernet, а также выход в глобальную сеть Internet. Это позволяет передавать данные о функционировании объ-

ектов управления на локальную и удаленную рабочие станции. Функции локальной рабочей станции заключаются в комплексном мониторинге объектов в реальном масштабе времени, выборе оптимальных стратегий управления, постоянного визуального контроля состояния управления объектов, сбор данных и разработка новых алгоритмов энергосберегающего управления. Применение удаленного доступа к объекту посредством сети Интернет позволяет оперативно корректировать стратегию управления с привлечением внешних экспертов-разработчиков, а также осуществить процедуру удаленной идентификации в случае появления новых объектов, с последующим формированием базы знаний по данному объекту без непосредственного присутствия на нем экспертов [2,3].

- 1. URL: http://www.zigbee.org/ (дата обращения 05.04.2014)
- 2. 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.
- 3. Муромцев, Ю.Л. Идентификация моделей, учитывающих изменение состояний функционирования / Ю.Л. Муромцев, Л.П. Орлова, Д.Ю. Муромцев // Радиосистемы. Обработка сигналов и полей. 2000. Вып. 43. № 3. С. 45 48.

Кудряшов М.А., Белоусов О.А., Дмитриевцев А.Ю., Козадаев Р.О.

# РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СИСТЕМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РАДИОМОНИТОРИНГА, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время широкое использование метеорологических станций, предназначенных для мониторинга параметров атмосферы, требует применение эффективных и малогабаритных радиолокационных станций. Данные станции существуют в большом количестве, но они, как правило не могут эффективно работать в условиях тяжелой метеорологической обстановки.

Главным недостатком существующих антенных систем, используемых на метеостанциях, является механический привод, так как скорость переключения и скорость формирования необходимой диаграммы направленности напрямую зависит от скорости движения механического привода. Также весомым недостатком является невозможность работы в многоканальном режиме, что очень важно при работе в тяжелых метеоусловиях.[1,3]

Под понятием феноменологической модели ФАР будем понимать модель, которая верно показывает основные явления, происходящие в моделируемой антенной системе, однако из-за того, что при моделировании учитываются не все параметры антенной системы, результат моделирования нельзя считать исключительно достоверным.

Использование метода построения феноменологических моделей позволит синтезировать сложные антенные системы и комплексы без использования методов натурного 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. Для решения поставленных задач будет построена цилиндрическая фазированная антенная решетка. Основными достоинствами решеток данной формы являются: возможность широкоугольного сканирования лучом без изменения формы и ширины в азимутальной плоскости; сканирование в угломестной плоскости; удобство размещения выпуклых антенных систем на некоторых объектах. [2]

Опираясь на вышеизложенные факты синтезируем антенную решетку на базе квадрифилярных излучателей, которая может решать задачи современных метеорологических РЛС. Данная антенная решетка состоит из трёх колец, состоящих из восьми излучателей.

Антенная решетка обладает коэффициентом усиления порядка 16 дБи. Также АР обладает многолучевостью, что необходимо при работе в многоканальном режиме.

В результате моделирования AP, можно сделать вывод, что применение такой антенной решетки в комплексах метеорологических РЛС позволит улучить следующие характеристики аэрологического радиолокатора:

- 1. электронное сканирование в пределах 360 градусов по азимуту;
- 2. Возможность работать в многоканальном режиме, сопровождая до 25 зондов одновременно.

Таким образом, применение данной фазированной цилиндрической антенной решетки позволит строить эффективные радиолокационные системы с хорошими массогабаритными и электрическими показателями, которые смогут демонстрировать высокий КПД при работе в тяжелых метеорологических условиях.

- 1. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. М.: Радиотехника, 2012.—744 с.
- 2. Белоусов О.А., Курносов Р.Ю., Горшков П.А., Рязанова А.Г. Синтез цилиндрической фазированной антенной решётки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16.// Вестник ТГТУ. 2015.№ 21. С. 266-272.

Лихачев Д.Б., Корбань В.Г., Борисов Ю.С.

#### АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ИНЖЕНЕРНО-АЭРОДРОМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЗИРОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ФОРМИРОВАНИЙ В ОСОБЫЙ ПЕРИОД

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А.Гагарина»

Успех действий авиацией ВКС определяется не только уровнем развития вооружения и военной техники, но и степенью обеспечения их функционирования в любой обстановке. Решение этих задач возложено на специально создаваемую систему обеспечения действий ВКС. Система обеспечения действий ВКС представляет собой совокупность сил и средств, развернутых по единому замыслу и плану, инфраструктуры, создаваемой в интересах реализации комплекса мероприятий проводимых с целью создания войскам ВКС необходимых условий для эффективного выполнения поставленных задач и максимального снижения эффективности действий средств воздушно-космического нападения.

Система обеспечения действий авиации, являясь компонентой единой системы ВКС, включает достаточно самостоятельные подсистемы, которые, в свою очередь, могут рассматриваться как системы оперативного, материально-технического, морально-психологического, и других видов обеспечения, а также соответствующие им силы и средства, которые создаются и функционируют на любом уровне уровнях. Каждая их этих систем решает вполне самостоятельные задачи по обеспечению эффективности применения ВКС в целом, однако применительно к цели настоящего исследования интерес представляет система инженерно-аэродромного обеспечения (ИАэО) действий авиации ВКС, функционирующая в рамках системы материально-технического обеспечения ВКС и являющаяся ее подсистемой. При обосновании структуры и характеристик системы ИАэО необходимо учитывать механизм ее влияния на общую эффективность системы более высокого уровня — системы ВКС, и в частности ее авиационной компоненты. Известно, что система ВКС применительно к авиационной компоненте включает в себя

системы более низкого уровня – систему оперативно-тактической авиации (ОТА) с входящими в нее системами истребительной (ИА) и ударной авиации (УА).

Система ИАэО действий авиации на постоянных аэродромах ВКС представляет собой совокупность взаимосвязанных органов управления, сил и средств ИАэОи источников материальных средств на каждом аэродроме, используемых по единому плану, предусматривающему проведение комплекса инженерно-аэродромных мероприятий (ИАэМ), обеспечение требуемой живучести базирования авиационных формирований, высокой готовности и рассредоточенного базирования авиации, возможности ее широкого маневра в ходе различных действий и приращения возможностей обеспечиваемых войск за время, не превышающее располагаемое.

Наиболее адекватно степень достижения целей действий авиации оценивается величиной наносимого ущерба противнику и предотвращенного ущерба объектам обороны. Однако, зависимость этих показателей от важности целей и объектов, методы объективной оценки которой разработаны недостаточно, затрудняют практическое применение данных показателей, и оправдывает применение более простых. В этой связи отмечается, что в случае равной значимости целей, величина наносимого, либо предотвращенного ущерба, пропорциональна математическому ожиданию (МОЖ) числа уничтоженных целей противника. Тогда оптимальные значения параметров системы ВКС, приводящие к максимуму МОЖ числа уничтоженных целей, обеспечивают и максимальное значение наносимого (предотвращенного) ущерба. При этом показатель эффективности системы ВКС может быть представлен в виде относительных потерь противника:

$$\Im = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} P_{ij} = \frac{\mathbf{M}_{ii}}{N}, \tag{1}$$

где: N- общее число целей, участвующих в операции;  $P_{j}-$  вероятность уничтожения j- той цели;  $M_{u}-$  МОЖ числа уничтоженных целей.

В выражении (1) МОЖ числа уничтоженных целей  $\mathbf{M}_{\mathbf{u}}$  является обобщенным показателем возможностей системы ВКС и может быть представлено в виде вектора:

$$\mathbf{M}_{_{\mathrm{II}}} = \left\langle \mathbf{M}_{_{\mathrm{BII}}}, \mathbf{M}_{_{\mathrm{HII}}} \right\rangle,\tag{2}$$

где:  $M_{\text{вц}}-MOЖ$  числа уничтоженных воздушных целей;  $M_{\text{нц}}-MOЖ$  числа уничтоженных наземных целей.

Значения компонент вектора (2) определяются возможностями основных подсистем ВКС – ИА и УА. В свою очередь, возможности указанных подсистем ВКС определяются возможностями входящих в них огневых средств. Учитывая, что поражение воздушных целей, как правило, осуществляется системами ИА, выражение для М<sub>вц</sub> можно представить в виде:

$$\mathbf{M}_{\mathbf{p}\mathbf{u}} = \mathbf{M}_{\mathbf{u}},\tag{3}$$

где: М<sub>и</sub>– МОЖ числа целей, уничтоженных системой ИА.

Уничтожение наземных целей осуществляется преимущественно силами УА, следовательно, можно записать:

$$M_{HII} = M_{v}, \tag{4}$$

где: M<sub>v</sub> – МОЖ числа целей, уничтоженных системой ударной авиации.

Величина потерь, наносимых противнику, зависит от большого числа факторов. Всю совокупность этих факторов условно можно разделить на две группы. К первой группе факторов относятся: состав и тактико-технические характеристики огневых средств ИА и УА, объемы боекомплектов АСП. Эти факторы определяют потенциальные возможности подсистем системы ВКС, которые можно определить из выражений:

$$M_{_{\rm H}} = \sum_{i=1}^{I} \sum_{n_{_{\rm H}}=1}^{N_{_{\rm H}}^{(i)}} M_{_{{\rm BO3}\Pi in_{_{\rm H}}}} \Big[ 1 - (1 - P_{1i})^{ni} \Big], \tag{5}$$

$$M_{y} = \sum_{u=1}^{U} \sum_{n_{y}=1}^{N_{y}^{(u)}} M_{\text{воздиn}_{y}} \left[ 1 - \left( 1 - P_{1u} \right)^{nu} \right], \tag{6}$$

где I, U — количество типов огневых средств в подсистемах ИА и УА соответственно;  $N_{u}^{(i)}$  — число ВСi-того типа в подсистеме ИА;  $M_{\text{воздin}_{u}}$  — число воздействий (атак), выполняемых ВС i-того типа с номером  $n_{u}$ ;  $P_{1i}$ — вероятность поражения цели одной ракетой ВС i-того типа;  $n_{u}^{(u)}$  — число ВС u-того типа в подсистеме УА;  $M_{\text{воздun}_{y}}$  — число воздействий, выполняемых ВС u-того типа с номером  $n_{y}$ ;  $P_{1u}$ — вероятность поражения цели одной ракетой ВС u-того типа;  $n_{u}$  — число ракет, выпускаемых по цели ВС u-того типа.

При этом, в ходе вооруженного противоборства объединения ВКС, система ИА действует в области уничтожения (ОУ) воздушного противника с раздельным применением огневых средств ИА, а система УА действует в области уничтожения наземного противника с применением огневых средств УА.

Степень реализации потенциальных возможностей подсистем ИА и УА в различных условиях предопределяется факторами второй группы, к которой можно отнести эффективность систем управления и обеспечения, снижение эффективности в условиях маневра целей, снижение эффективности в условиях помех и т. д. Применительно к цели настоящего исследования, из всего многообразия факторов второй группы необходимо выделить те факторы, которые характеризуют влияние ИАэО, как компоненты системы обеспечения, на возможности ИА и УА [1].

Это влияние проявляется в ходе решения задач системой ИАэО, которое может быть выражено через результативность процессов реализации инженерномаскировочных мероприятий. Комплекс инженерно-маскировочных мероприятий, является объективной предпосылкой к снижению вероятности вскрытия противником истинных позиций авиации на аэродромах, которые могут быть подвержены удару АСП противника ив результате снижению объема потерь авиационной техники на аэродромах, что позволит положительно влиять на уровень готовности авиационной техники и возможности авиационных формирований в целом.

Таким образом, параметры системы ИАэО, в плане организации и реализации инженерно-маскировочных мероприятий на постоянных аэродромах ВКС, опосредованно, через значения вероятности вскрытия противником истинных позиций авиации на аэродромах и основных элементов летного поля, реализующих самолето-вылеты, влияют на возможности авиационных формирований. Это обстоятельство является первым тактико-техническим аспектом исследования проблемы обоснования требований к системе ИАэО базирования авиационных формирований.

Вторым, не менее важным, тактико-техническим аспектом исследования проблемы обоснования требований к системе ИАэО действий авиации на постоянных аэродромах ВКС является исследование влияния на возможности авиационного формирования ИАэМ по обеспечению живучести ее базирования. Известно, что живучесть базирования авиации определяется её потерями на аэродромах в ходе военных действий и возможностями по восстановлению (восполнению) этих потерь. Обеспечение живучести авиационных формирований является одной из основных задач системы ИАэО и необходимым условием достижения высокой эффективности их действий.

Живучесть базирования авиационных формирований на постоянных аэродромах ВКС достигается проведением совокупности организованных и спланированных ИАэМ направленных, прежде всего на рассредоточенное и укрытое базирование авиации. Данные мероприятия полностью определяются параметрами системы обеспечения живучести базирования авиации, которая является одной из подсистем системы ИАэО.

Действительно, потенциальные возможности авиационных формирований ВКС, как видно из выражений (5-6), в значительной степени определяются количеством авиационных комплексов различных типов, находящихся в состав формирования. Следовательно, влияние системы обеспечения живучести базирования авиации, на возможности группировки ВКС осуществляется через число участвующих ВС і-того типа  $N_{\mu}^{(i)}$  в области уничтожения средств воздушного нападения противника (5) и  $N_{y}^{(u)}$  в области уничтожения наземного противника (6).

В дальнейшем, при обосновании требований к системе обеспечения живучести базирования авиации, показатель, характеризующий качество её функционирования, должен выбираться исходя из обеспечения максимального приращения возможностей авиационных формирований на множестве возможных вариантов обеспечивающих ее живучесть за время не превышающее располагаемое. А параметры системы обеспечения живучести должны обосновываться исходя из достижения системой требуемых значений показателя возможностей авиационного формирования ВКС.

Третьим тактико-техническим аспектом исследования проблемы обоснования требований к системе ИАэО действий авиации на постоянных аэродромах является исследование влияния на возможности формирования ВКС характеристик системы скоростного восстановления аэродромов. Влияние характеристик этой системы на возможности осуществляется через суммарное количество самолето-вылетов ВС, обеспечиваемых аэродромами базирования при относительной требуемой пропускной способности основных элементов летного поля аэродромов, исправное состояние которых, обеспечивается путем функционирования системы скоростного восстановления в условиях воздействия средств поражения противника [2].

Таким образом, рассмотренные тактико-технические аспекты исследования проблемы обоснования требований к системе ИАэО базирования авиационных формирований в ходе действий показывают, что возможности формирований авиации в большой степени обу-

словлены как характеристиками этой системы, так и процессом организации взаимодействия составляющих ее сил и средств.

Кроме рассмотренных тактико-технических аспектов в проблеме обоснования требований к системе ИАэО базирования авиационных формирований в ходе действий, существует еще совокупность технико-экономических аспектов. Важным является отыскать не просто эффективные, но и экономичные направления развития системы ИАэО действий авиации, реализуя их достаточный уровень минимально возможными экономическими усилиями и ресурсами. Рассмотрим их более подробно.

Первым технико-экономическим аспектом проблемы обоснования требований к системе ИАэО действий авиации ВКС является исследование влияния на суммарные затраты при создании системы ИАэО характеристик системы маскировки постоянных аэродромов. При этом будем исходить из того, что основными компонентами данной подсистемы являются средства маскировки и имитации для проведения комплекса инженерно-маскировочных и ложных мероприятий, направленных непосредственно на снижение вероятности поражения авиационной техники с одной стороны и снижение вероятности разрушения элементов летного поля аэродромов.

Вторым технико-экономическим аспектом является исследование влияния на суммарные затраты при создании системы ИАэО характеристик системы обеспечения живучести базирования авиации на постоянных аэродромах ВКС. Ранее было показано (5–6), что характеристики этой системы опосредованно оказывают влияние на возможности авиационного формирования, через количество сохраненных авиационных комплексов различных типов, находящихся в их составе.

При выборе и обосновании характеристик системы обеспечения живучести базирования авиации, целесообразно с военно-экономических позиций провести оценку рациональных вариантов планировки основных элементов летного поля постоянных аэродромов ВКС.

Это положение может быть пояснено с помощью качественных зависимостей суммарных стоимостных затрат на строительство защитных укрытий перспективных проектов с высоким уровнем фортификации для авиационной техники на аэродромах  $-C_z$ , и расходов на строительство групповых (ГМС) и индивидуальных мест стоянки (ИМС) для самолетов  $-C_M$  от значений показателя живучести базирования группировки авиации  $-S_M$ . Очевидно,

что применение современных защитных укрытий для авиационной техники повышенной прочности потребует дополнительных экономических затрат на их возведение.

На рисунке 1 показана зависимость суммарной стоимости и ее составляющих.

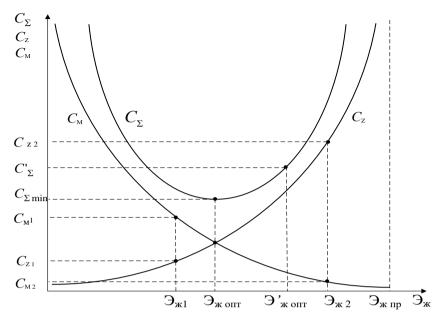


Рисунок 1— Зависимость стоимости строительства перспективных защитных укрытий для AT - $C_z$  и стоимости строительства  $\Gamma MC$  и UMC - $C_{\scriptscriptstyle M}$ 

на аэродромах от значений показателя живучести базирования авиации Эж

Из рисунка 1 видно, что низкие значения показателя живучести —  $Э_{ж1}$  обусловливают сравнительно низкие затраты на строительство защитных укрытий перспективных проектов с высоким уровнем фортификации для авиационной техники на аэродромах —  $C_z$  но требуют увеличения расходов на строительство ГМС и ИМС для самолетов —  $C_{м}$ для поддержания требуемого значения показателей возможностей авиации [3].

Высокая живучесть базирования авиации —  $Э_{ж2}$  приводит к снижению затрат на строительство ГМС и ИМС для самолетов —  $C_{м2}$ , но обусловливает при этом и увеличение затрат на строительство защитных укрытий перспективных проектов с высоким уровнем фортификации для авиационной техники на аэродромах —  $C_{z2}$ .

Минимальное значение суммарной стоимости  $C_{\Sigma min}$  соответствует оптимальному значению живучести базирования авиации —  $Э_{\text{ж.опт.}}$ . Если это значение живучести базирования авиации позволяет обеспечить требуемые значения показателей возможностей, то значение  $Э_{\text{ж.опт}}$  можно принимать в качестве рационального.

В противном случае, в качестве рационального целесообразно принять значение  $\Im'_{\text{жопт}}$ ,  $\Im_{\text{жопт}}$ ,  $\Im_{\text{жопт}}$ , где  $\Im_{\text{жпр}}$  – предельное значение показателя живучести, позво-

ляющее обеспечить требуемые значения приращения показателей возможностей обеспечиваемых формирований, однако, при этом возрастет общая стоимость строительства защитных укрытий перспективных проектов с высоким уровнем фортификации, а также ГМС и ИМС для самолетов до значения  $C_{\Sigma}$ .

В случае если требуемые значения показателей возможностей обеспечиваются уже при значениях показателя живучести базирования авиации  $\mathfrak{I}_{\mathrm{жl}}$ , в качестве рациональных значений целесообразно также выбрать значение  $\mathfrak{I}_{\mathrm{жont}}$ , которое обусловливает минимальную общую стоимость  $\mathfrak{C}_{\Sigma \mathrm{min}}$ .

Третьим технико-экономическим аспектом проблемы обоснования требований к системе ИАэО базирования авиационных формирований в ходе действий является выбор рационального варианта системы скоростного восстановления постоянных аэродромов в ходе действий авиации. Функционирование системы скоростного восстановления аэродромов осуществляется в условиях жестких временных ограничений, поэтому качество ее функционирования характеризуется степенью обеспечения авиационных формирований требуемым количеством самолето-вылетов за время, не превышающее располагаемое. В то же время, значения характеристик системы скоростного восстановления аэродромов в полной мере определяются пространственно-временными параметрами действий. В этих условиях существуют различные варианты построения системы скоростного восстановления аэродромов. Среди этих вариантов скоростного восстановления аэродромов для конкретных условий обстановки существует вариант системы, обладающий минимальной стоимостью в рамках принятых ограничений. Задача заключается в том, чтобы на множестве альтернативных вариантов построения системы скоростного восстановления аэродромов найти совокупность вариантов, обладающих минимальной стоимостью, в рамках принятых ограничений, при обеспечении требуемого количества самолето-вылетов авиационного формирования за время, не превышающее располагаемое.

Рассмотренные технико-экономические аспекты обоснования требований к элементам системы ИАэО действий авиации являются необходимым, но недостаточным условием оптимальности по экономическому критерию. Для выбора окончательного варианта структуры и характеристик элементов системы ИАэО необходимо проанализировать их влияние в комплексе и взаимосвязи на возможности авиационных формирований ВКС.

Естественно, что технико-экономические аспекты обоснования требований к системе ИАэO действий авиации не являются безусловными [4].

Для оценки экономической целесообразности построения системы ИАэО действий авиации воспользуемся показателем, характеризующим удельные затраты на единицу выходного эффекта функционирования авиационного формирования ВКС. В этом случае условие экономической целесообразности создания системы ИАэО действий авиации ВКС можно представить в виде

$$\frac{C_{\text{MA}}^{(\text{H})}}{W_{\text{H}} - W_{\text{H}0}} < \frac{C_{\text{H}}}{W_{\text{H}} - W_{\text{H}0}}, \qquad \frac{C_{\text{MA}}^{(\text{y})}}{W_{\text{v}} - W_{\text{v}0}} < \frac{C_{\text{y}}}{W_{\text{v}} - W_{\text{v}0}},$$
 (7)

где: $C^{(u)}_{UA_{2}O}$ ,  $C^{(y)}_{UA_{2}O}$  — затраты на создание системы ИАэО для группировки ИА и УА соответственно;  $W_{u,y}W_{u0,y0}$ , — выходные эффекты функционирования систем ИА и УА, с учетом и без учета функционирования системы ИАэО соответственно;  $C_{ud}$ ,  $C_{yd}$  — затраты на наращивание выходного эффекта систем ИАи УА за счет введения в состав формирований дополнительных огневых средств;  $W_{ud}$ ,  $W_{yd}$  выходные эффекты функционирования систем ИА и УА с учетом введения дополнительных огневых средств и численно равные  $W_u$ ,  $W_y$  соответственно.

Из выражений (7) видно, что если удельные затраты на единицу приращения возможностей систем ИА и УА при условии создания системы ИАэО действий авиации будут меньше, чем аналогичные затраты при наращивании эффективности ИА и УА за счет введения в состав формирования дополнительных огневых средств, то создание системы ИАэО базирования авиации в ходе действий является экономически оправданным.

Таким образом, рассмотренные роль и место системы ИАэО базирования авиации в ходе действий в системе ВКС, а также тактико-технико-экономические аспекты проблемы обоснования требований к исследуемой системе позволяют сделать следующие выводы:

1. Система ИАэО действий авиации объединения ВКС является подсистемой системы материально-технического обеспечения, которая в свою очередь является подсистемой суперсистемы - системы ВКС.

Силы и средства системы ИАэО функционируют на различных уровнях иерархии ВКС: стратегическом, оперативном, тактическом. Между элементами системы различных уровней существуют вертикальные связи, а между элементами системы одного - горизонтальные связи. Механизм воздействия характеристик системы ИАэО на эффектив-

ность подсистем ВКС является сложным и проявляется в обусловленности ее значений, как значениями характеристик отдельных подсистем, так и системы ИАэО в целом.

2. Исследование механизма влияния системы ИАэО действий авиации ВКС на эффективность системы ВКС выявило две взаимосвязанные совокупности аспектов такого влияния, которые необходимо учитывать при обосновании требований к системе ИАэО: тактико-технические и технико-экономические. Тактико-технические аспекты заключаются в выявлении механизма влияния характеристик элементов системы ИАэО на показатели возможностей подсистемы авиации.

Установлено влияние характеристик системы ИАэО на состав авиационных формирований в особый период и количество обеспечиваемых самолето-вылетов авиации.

#### Список использованных источников

- 1. Бурмистров С.К. и др., Справочник офицера ВКО. Тверь ВА ВКО, 2005. 425 с.
- Совершенствование инженерно-аэродромного обеспечения базирования авиации на постоянных аэродромах ВКС при подготовке к боевым действиям. Итоговый научнотехнический отчет о НИР «Совершенствование-31» № 34083102. – Воронеж: ВАИУ, 2008. 95 с.
- Разработка перспективных инженерных мероприятий по повышению живучести базирования авиации на постоянных аэродромах ВКС в условиях применения противником высокоточного оружия. Итоговый научно-технический отчет о НИР «Взлесок» № 1606497.

   Воронеж: ВАИУ, 2009. 93 с.
- Совершенствование инженерно-аэродромного обеспечения боевых действий авиации в современных условиях. Итоговый научно-технический отчет о НИР «Колпин» № 1607906. Воронеж: ВАИУ, 2011. 138 с.

Майоров М.А.\*, Скоморохов К.В.\*\*

## АНАЛИЗ СОВМЕЩЕННЫХ ВИБРАТОРНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ДИФРАКЦИИ НА ПЕРЕОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ПРОВОДНИКОВ

\*Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов,

\*\*Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов,

**Аннотация:** в статье представлен анализ совмещенных вибраторных фазированных антенных решеток с использованием теории дифракции на периодических структурах проводников.

Одним из актуальных направлений в разработке антенн является сканирующие антенные решетки, работающие одновременно в нескольких существенно различных поддиапазонов частот. Подобные антенны получили название многочастотных совмещенных антенных решеток и строятся по принципу совмещения в одной излучающей апертуре нескольких групп разночастотных излучателей [1].

В настоящее время максимальные искажения возникают при одинаковой поляризации, поэтому одним из естественных способов минимизации искажений является развязка по поляризации совмещенных вибраторных антенных решеток. Апертура верхней вибраторной решетки должна быть больше или равна апертуре нижней антенной решетки, заметим, что апертура верхней ВАР полностью перекрывает нижнею. В качестве нижней решетки может выступать вибраторная, волноводная или щелевая антенная решетка[3].

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. При падении на вибратор плоской волны в плоскости, перпендикулярной оси вибратора, и при длине вибратора, составляющей несколько длин волн, амплитуды полей, переизлучаемых вибратором в указанной плоскости и отрезком бесконечного провода такой же длины и се-

чения, что и вибратор, совпадают с точностью порядка 10%, за исключением очень тонких вибраторов в точках резонанса[2].

Рассмотрим дифракцию поля антенны на периодической структуре проводников. При падении на периодическую структуру из бесконечно длинных проводников произвольного поперечного сечения плоской E-поляризированной волны единичной амплитуды под углом  $\alpha$  в плоскости YOZэлектрическое и магнитное поля за структурой и перед ней имеют вил:

$$E_{x}^{2}(y,z,\alpha) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_{n}^{E}(\alpha) e^{j(\gamma_{n}z-h_{n}y)},$$

$$H_{y}^{2}(y,z,\alpha) = \frac{1}{\omega\mu_{0}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_{n}^{E}(\alpha) \gamma_{n} e^{j(\gamma_{n}z-h_{n}y)},$$

$$H_{y}^{2}(y,z,\alpha) = \frac{1}{\omega\mu_{0}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_{n}^{E}(\alpha) h_{n} e^{-j(\gamma_{n}z-h_{n}y)}.$$

$$E_{x}^{1}(y,z,\alpha) = e^{k(-y\sin\alpha+z\cos\alpha)} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{n}^{E}(\alpha) e^{j(\gamma_{n}z-h_{n}y)},$$

$$H_{y}^{1}(y,z,\alpha) = \frac{1}{\omega\mu_{0}} \left[k\cos\alpha e^{ik(-\gamma\sin\alpha+z\cos\alpha)} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{n}^{E}(\alpha) \gamma_{n} e^{-j(\gamma_{n}z-h_{n}y)}\right],$$

$$H_{z}^{1}(y,z,\alpha) = \frac{1}{\omega\mu_{0}} \left[k\sin\alpha e^{jk(-\gamma\sin\alpha+z\cos\alpha)} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{n}^{E}(\alpha) h_{n} e^{-j(\gamma_{n}z-h_{n}y)}\right],$$

$$(2)$$

$$\Gamma_{\text{Де}} h_{n} = k[n/(d/\gamma) + \sin\alpha]; \gamma_{n} = \sqrt{k^{2} - h_{n}^{2}}; d - \text{период структуры}.$$

В результате для определения максимальных искажений, вносимых низкими частотами верхней вибраторной антенной решеткой в характеристики направленности высоких частот нижней антенной решетки с известным распределением поля в раскрыве, сводится к использованию результатов расчетов дифракции плоских волн на периодических структурах.

- Белоусов О.А. Фазированная антенная решетка для систем цифрового телевидения/ Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского.2014. №3(53) С. 62-68.
- 2. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. М.: Радиотехника, 2012.—744 с.
- 3. Белоусов О.А., Курносов Р.Ю., Горшков П.А., Рязанова А.Г. Синтез цилиндрической фазированной антенной решётки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16.// Вестник ТГТУ. 2015.№ 21. С. 266-272.

#### Мосин А.И., Тетерятников А.В., Кайдаш Е.П.

#### АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

В настоящее время существует множество подходов к оценке качества функционирования сетей связи [1].

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:

$$W = \Pi \times V \times T \,, \tag{1}$$

где  $\Pi$  — производительность сети, V — скорость передачи информации в сети, T — точность передачи информации в сети и затем показателя эффективности Ливн, представляющего собой удельную себестоимость:

$$Y = \frac{C}{W},\tag{2}$$

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.

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:

$$\eta = \frac{KW}{KW_{now}} \quad 100\% \,, \tag{3}$$

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;  $KW_{nonh} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \sum_{k=1}^s C_{k,i}$  — 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:

$$\eta_{nom} = \eta \cdot \lg P_{ou}, \tag{4}$$

где  $P_{out} = N_{out}/N_{oбut}$  — вероятность ошибки приема одиночной элементарной посылки,  $N_{oбut}$  — общее число одиночных элементарных посылок,  $N_{out}$  — 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.

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 [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 предназначению и, соответственно, учитывать его значение нецелесообразно.

Рассмотренные подходы характеризуют в первую очередь технические аспекты функционирования сети и не отражают целенаправленности функционирования сети, что актуализирует необходимость поиска других подходов к оценке качества функционирования сетей связи.

- 1. ГОСТ Р 53111 2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. – М.: Стандартинформ, 2009. – 19 с.
- 2. Карганов, В.В. Показатель оценки эффективности систем связи и их элементов / В.В. Карганов, А.Г. Расчесова, В.А. Кудряшов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2016. № 1 (236). С. 7–14.
- 3. Пат. РФ, RU 2602347 C1 Способ оценки эффективности информационного обмена системы связи / Межуев А.М., Пасечников И.И., Родзевич А.И., Роза А.Н., Ковальчук Е.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Военный учебнонаучный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации. № 2015132753/08; заявл. 05.08.2015; опубл. 20.11.2016.
- Recommendation ITU-T Y.1541 (12/2011). Network performance objectives for IP-based services / ITU-T // [Электр. публ. Женева, 2012]. URL: https://www.itu.int/rec/dologin\_pub.asp ?lang=e&id=T-REC-Y.1541-201112-I!!PDF-E&type=items. 11/2012 60 с.

#### Назмутдинов И.С.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРЕЙМОВОЙ МОДЕЛИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

**Аннотация:** В статье рассмотрен вариант разработки базы знаний с использованием фреймовой модели, раскрыты достоинства и возможности данной модели.

**Ключевые слова:** экспертная подсистема, фреймовая модель, техническая система, система поддержки принятия решений.

Основным элементом экспертной подсистемы является база знаний [1], в которой хранятся два вида данных: данные, меняющие свое значение в результате работы экспертной подсистемы при разрешении какой-либо ситуации и накопленные знания в соответствии с формой их представления.

Для представления знаний в области диагностики используются фреймовые модели [2]. Фреймовая модель — модель представления знаний, введенная М. Минским в 1975 году, как один из подходов к описанию знаний, пригодных для понимания сцен и языка. Основной единицей информации является фрейм. Он описывается совокупностью понятий и данных.

Каждый фрейм имеет имя и определенную структуру на множестве слов, которые в свою очередь имеют свою внутреннюю структуру. Фрейм может быть представлен в виде конструкции [2]

$$f = \left[ \langle r_1, v_1 \rangle, \langle r_2, v_2 \rangle, \dots \langle r_n, v_n \rangle \right], \tag{1}$$

где f – имя фрейма;  $r_i$  – имя слота;  $v_i$  – значение слота.

Каждый фрейм имеет специальный слот, заполненный наименованием сущности, которую он представляет. Другие слоты заполнены значениями разнообразных атрибутов, ассоциирующихся с технической системой. В качестве примера на рис.1. приведена

структура фрейма, описывающего иерархическую единицу, являющуюся усилителем – преобразователем эхо – сигнала приемника сопровождения воздушной цели.

Фрейм #054			
Тип:	Описание		
Описываемая сущность	ФР-256-205		
Функциональное назначение	Селектор дальности		
Реализуемая логическая функ-	F#443		
ция	1774-3		
Вход	(задать отсутствие или присут-		
Вход	ствие)		
Выход	(задать отсутствие или присут-		
	ствие)		
Схема (если необходимо)	F#505		
Элементная база (если необ-	F#987		
ходимо)	1 1701		
Связь в сети	F#199, F#483,F#055		

Рисунок 1 – Структура фрейма

Данный фрейм под условным номером #054 позволяет описать все необходимые данные для процесса решения задачи по поиску и локализации отказавшего элемента. Связь данного фрейма в системе осуществляется через соответствующий слот «связь в сети», а поиск необходимой информации производится через соответствующие значения «слотов – ссылок».

Достоинство системы, использующей фреймы, заключается в том, что те элементы, которые традиционно присутствуют в описании устройства или события, группируются и, благодаря этому, могут извлекаться и обрабатываться как единое целое [2]. Ценность этого свойства фреймов в том, что предметная область диагностики аппаратуры технических систем (пространство поиска решений) факторизуема и это позволяет эффективно организовать поиск в этой области. Другое важное свойство фреймов — возможность представления значений  $v_i$  слотов другими фреймами. Это позволяет связать множество фреймов в единую информационно-поисковую сеть. В случае, когда предложенный фрейм не удается привести в соответствие с создавшейся ситуацией, то эта сеть предлагает заменяющий его фрейм.

- 1. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем СПб.: Питер, 2001.-384 с.
- 2. Минский М. Фреймы для представления знаний: Пер. с англ. / Под ред. Ф.М. Кулакова. М.: Энергия, 1979. 342 с.

#### Наумова А.Ю.

#### О НЕКОТОРЫХ ПОДХОДАХ

# К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Тамбовский государственный технический университет

**Ключевые слова:** эффективность технического обслуживания информационноизмерительных систем.

**Аннотация:** в работе рассматриваются подходы по снижению трудозатрат на выполнение TO, коэффициент эффективности TO.

Известен подход к оценке качества организации и планирования выполнения ТО на комплексных радиотехнических системах связи [1]. В качестве показателя эффективности организации ТО рассматривается коэффициент полноты выполнения работ ТО:

$$k_{gbin.} = \frac{T_{on}}{\sum_{i=1}^{n} t_i}, \quad i = \overline{1, n} ;$$

$$(1)$$

где  $T_{on}$ - располагаемый трудоресурс обслуживающего персонала по выполнению ТО на ИИС;  $t_i$  - трудозатраты на выполнение работ ТО на i -ом образце ИИС; n - количество образцов ИИС.

Из выражения (1) следует, что достижение требуемого значения коэффициента полноты выполнения ТО возможно при увеличении трудоресурса обслуживающего персонала или уменьшении трудозатрат на ТО. Однако указанные меры носят непопулярный характер. Более рациональным является снижение трудозатрат на выполнение ТО. Реализацию этого направления целесообразно проводить, совершенствуя как организационный, так и технический компонент при ТО (рисунок 1).



#### <u>ОРГАНИЗАЦИ</u>ОННЫЕ

эксплуатация по состоянию; планирование работ ТО; подготовка обслуживающего персонала; совершенствование системы снабжения; - разработка АСУ эксплуатацией ИИС; компьютеризация технической документации; - организация контроля за полнотой и качеством ТО.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ

разработка и совершенствование автоматизированных средств технического диагностирования; разработка комплексов прогнозирующего контроля технического состояния; повышение показателей ремонто- и контроле пригодности; оптимизация комплектов запасных частей, средств диагностирования, инструментов.

Рисунок 1 – Мероприятия по совершенствованию ТО

Необходимо отметить, что с точки зрения успешности достижения результатов ТО, целесообразно периодически (1-2 раза в год) оценивать эффективность проведения профилактических работ на ИИС с помощью показателя, называемого коэффициентом эффективности технического обслуживания [1]:

$$k_{\mathfrak{I}TO} = \frac{n_{TO}}{n_{TO} + n};\tag{2}$$

где  $n_{TO}$  - количество отказов, предотвращаемых на аппаратуре в процессе ТО за некоторый период эксплуатации; n - количество отказов, возникших в аппаратуре за этот же период эксплуатации, несмотря на проведение ТО.

- 1. Техническая эксплуатация средств связи. Часть 1. П.И. Барашков, А.Я. Гречкосий, В.В. Кролевецкий. / Под ред. А.Я. Гречкосия. Л.: ВАС, 1980. 302 с.
- 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.
- 3. 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.

#### Першин А.А., Головченко Е.В.

# ФАКТОР НИЗКОЙ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЁННОСТИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

**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 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 пробезопасной цесс эксплуатации воздушных Под безопасностью полёсудов. тов понимается состояние авиационной системы, при котором факторы, связанные с авиационной деятельностью по эксплуатация 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 выполняются 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, использования 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 сложившийся 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 Федера-

ции, а также за её пределами может снизить фактор низкой ситуационной осведомлённости, а в ряде случаев полностью исключить.

- 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.

#### Резчикова Е.В.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАКОМПЕТЕНЦИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ЛИЧНОСТИ

#### МГТУ им. Н.Э. Баумана

Обучение инженерным профессиям в техническом вузе с каждым годом становится все более сложной и нетривиальной задачей. Во-первых, сильно изменился характер подготовки поступающих на технические специальности, отличающейся сужением знаний по точным предметам и расширенным владением информационными технологиями. Во-вторых, заказчики из промышленности требуют выпуска специалистов, способных решать творческие задачи и обеспечивать инновационное развитие техники. Поэтому к подготовке магистров предъявляются требования по формированию не только профессиональных компетенций по профилю специальности, но и метакомпетенций, определяющих их креативный потенциал. Опыт работы многих университетов показал, что для успешного формирования и развития творческих способностей магистров необходимо последовательно знакомить их с различными творческими стратегиями и закреплять практические навыки решения технических задач теми или иными творческими приемами. Для этого магистров в течение семестра обучали следующим методикам решений задач: структурно-логические схемы (Mind-map, C-MapTools); преобразование условия задач (ПУЗ); причинно-следственные цепочки (ПСЦ); метод фокальных объектов (МФО); метод морфологического ящика (ММЯ); технические противоречия и приемы разрешения (ТП); функциональный анализ (ФА). Особенность проведения таких занятий заключалась в том, что параллельно была осуществлена работа по исследованию психологических особенностей личностной структуры каждого студента-магистра 5 курса из пилотной группы. Для этого разработана пилотная батарея психологических тестов, выявляющая сильные и слабые стороны личностной структуры применительно к результативной, проектной деятельности. Она включает в себя три группы тестов: телесные, проективные и опросные. По результатам тестирования для каждого магистра были обсуждены и намечены сценарии поведения, обеспечивающие реализацию сильных сторон личности и

уменьшающие влияние слабых. Такой комплексный подход позволил повысить мотивацию студентов к расширенному поиску и освоению информации по работе и сформировать позитивные убеждения относительно своих творческих способностей. Это положительно сказалось как на уровне итоговых работ магистров из пилотной группы, так и на психологическом климате в группе. Вывод 1. Метакомпетенции можно формировать параллельно с реализацией учебного процесса, который должен быть построен по логике творческих стратегий.

Вывод 2. Формирование творческих стратегий должно осуществляться с учетом индивидуальных психологических особенностей личностных черт обучаемых. Современная психология дает инструментальную возможность выявить эти особенности.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-06-00404 а.

#### Богословский Е.А., Самсонов М.В.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОТОВНОСТИ СРЕДСТВ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ АВИАЦИИ

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

**Аннотация:** В статье представлен вариант обеспечения готовности средств радиотехнического обеспечения полетов авиации с применением комплекса с беспилотным летательным аппаратом

**Ключевые слова:** воздушные суда, радиотехническое обеспечение, летные проверки, воздушные суда – лаборатории, беспилотный летательный аппарат.

Точная аэронавигация воздушных судов (ВС) невозможна без применения радиотехнических средств (РТС). Проверка параметров и характеристик наземных средств радиотехнического обеспечения(РТО) является одной из важнейших составляющих обеспечения безопасности полётов ВС. В состав средств РТО входят такие как радиомаячные системы (РМС) инструментального захода ВС на посадку и радиотехнические системы ближней навигации (РСБН), которые в обязательном порядке нуждаются в проведении летных проверок (облета). Такие проверки выполняются специализированными воздушными судами — лабораториями (ВСЛ), оборудованными аппаратурой лётного контроля. Виды летных проверок средств связи и РТО полетов и средства их выполнения представлены в таблице1[1].На сегодняшний день существуют проблемы с состоянием парка специализированных ВСЛ, решающих задачи летной проверки РТС, обусловленные их моральным и физическим устареванием. Для проведения летных проверок с использованием ВСЛ Ан-26 необходимы большие временные и материальные затраты. При решении задачи облета средств РТО целесообразно использовать комплексы с беспилотными летательными аппаратами (КБЛА) среднего класса. Вид целевой нагрузки (ЦН), мас-

согабаритные размеры БЛА зависят от минимально возможных массогабаритных размеров бортовой аппаратуры.

Таблица №1 – Виды летных прове	рок
--------------------------------	-----

	Виды летных проверок				
Средства связи и РТО полетов, подлежащих летной проверке	первичные	периодиче- ские	предполет- ные	контроль- ные	специаль- ные
Приводные аэродромные радиостанции	BC	-	BC	B C	ВС (ВСЛ)
Радиолокационные системы по- садки	BC	-	BC	B C	ВС (ВСЛ)
Радиолокационные станции обнаружения	BC	-	BC	BC	BC
Радиомаячные системы инструментального захода BC на посадку	ВСЛ	ВСЛ	BC	ВС Л (В С)	ВСЛ (ВС)
Радиотехнические системы ближней навигации	ВСЛ	-	BC	ВС (В СЛ ))	ВСЛ (ВС)

ЦН БЛА при решении задачи летной проверки средств РТО аэродрома может включать: систему управления БЛА (СУ БЛА);модуль бортовой навигационной аппаратуры (модуль БНА); аппаратно-программный комплекс управления и контроля (АПСиК); приемо-передающая аппаратура (ПРМ-ПРД),антенно – фидерное устройство (АФУ).

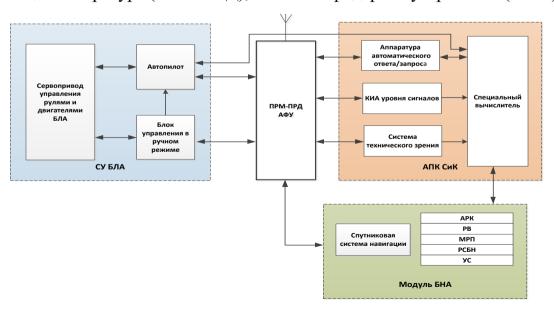


Рисунок №1 Структурная схема бортового оборудования БЛА

На рисунке №1 показан вариант структурной схемы бортового оборудования БЛА предназначенного для проведения летной проверки средств РТО.

СУ БЛА – состоит из автопилота и аппаратуры управления в ручном режиме полета по командам с наземной станции управления (НСУ). Пункт обработки информации, поступающей от БЛА, будет размещается на НСУ.

Модуль БНА – предназначен для формирования навигационной информации (высота, скорость, наклонная дальность) на борту БЛА. Состоит из спутниковой системы навигации и бортовой навигационной аппаратуры включающей: автоматический радиокомпас (АРК), радиовысотомер (РВ), маркерный радиоприемник (МРП), бортовую аппаратуру радиотехнической системы ближней навигации РСБН, указатель скорости (УС), ит.д.

АПКСиК функционально состоит: системы технического зрения.контрольноизмерительной аппаратуры параметров принимаемых сигналов. аппаратуры автоматического ответа/запроса; спецвычислителя.

Таким образом, применение специализированного КБЛА, предназначенного для проведения летных проверок средств РТО аэродромов государственной авиации, значительно повысит уровень готовности средств РТО полетов авиации и безопасность полетов в целом.

#### Список использованной литературы

1. Федеральные авиационные правила производства полетов государственной авиации. М.: Воениздат, 2005 г. 286 с.

#### Селиванова З.М., Куприянов А.В.

# КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Тамбовский государственный технический университет

Необходимость формализации процесса идентификации и создания концептуальной модели измерительной ситуации обусловлена неопределенностью получаемой информации при проведении теплофизических измерений с учетом воздействия дестабилизирующих факторов, влияющей на точность результатов определения теплофизических свойств (ТФС) материалов.

При создании концептуальной модели измерительной ситуации необходимо разработать: математическую модель предметной области формирования измерительной ситуации, информационную модель, математическую модель исследуемых материалов,

математическую модель процесса теплофизических измерений, модель оптимальных режимных параметров, модель метрологического анализа.

Концептуальная модель (KM) измерительной ситуации представлена в виде кортежа:

$$KM = \langle M\Pi O, MM, MTH, MP\Pi, MMA \rangle,$$
 (1)

где МПО – модель предметной области измерительной ситуации, отображающая комплекс сведений о методах определения ТФС объектов исследования; ИМ – модель исследуемых материалов, содержащая данные о свойствах, параметрах и диапазонах теплопроводности материалов; МТИ – модель теплофизических измерений, включающая совокупность уравнений процесса измерений; МРП – модель режимных параметров, устанавливающая закономерности формирования оптимальных режимных параметров в зависимости от класса материала по теплопроводности (число и длительность тепловых импульсов, мощность теплового воздействия на объект, время проведения теплофизического эксперимента); ММА – модель метрологического анализа, отражающая математические зависимости расчета и анализа погрешностей результатов измерений.

Важной задачей при проведении теплофизических измерений является формирование классов измерительных ситуаций, которые характеризуются набором определенных показателей ( $\chi_a$ ). Согласно модели (1) к соответствующим показателям относятся: методы определения  $T\Phi C$  исследуемых материалов ( $\mathcal{X}_m$ )(импульсные методы с линейным, плоским или круглым нагревателями); диапазоны теплопроводности материалов( $\chi_d$ )(низкий, средний, высокий); уравнения процесса теплофизических измерений( $\chi_u$ ) для определенного метода; режимные параметры ( $X_p$ ) измерений в зависимости от диапазона материала по теплопроводности; методы метрологического анализа( $\chi_a$ ). Каждой изсоответствует показателей  $X = (x_m, x_d, x_u, x_n, x_a)$ мерительной ситуации набор . Показатели  $x_q$  ,  $q \in \{m, d, u, p, a\}$ оцениваются, чтобы отнести значения  $x_q$  к соответствующему классу измерительной ситуации (ИС): низкой  $(X_q^n)$ , средней  $(X_q^s)$  и высокой  $(X_q^n)$ теплопроводности материалов.

Определены три класса измерительных ситуаций для соответствующих диапазонов теплопроводности материалов:

- класс измерительной ситуации  $K_{\text{ИСн}}$ , которая применяется при контроле  $T\Phi C$  материалов низкой теплопроводности

$$\chi_m^n, (\chi_d^n \cup \chi_p^n), (\chi_u^n \cup \chi_a^n); \tag{2}$$

- класс измерительной ситуации  $K_{\text{ИСср}}$ , используемой для определения  $T\Phi C$  объектов средней теплопроводности

$$\chi_m^s, \left(\chi_d^s \cup \chi_p^s\right), \left(\chi_u^s \cup \chi_d^s\right); \tag{3}$$

- класс измерительной ситуации  $K_{\text{ИСв}}$ , применяемой при контроле  $T\Phi C$  исследуемых материалов высокой теплопроводности

$$\chi_m^{\nu}, \left(\chi_d^{\nu} \cup \chi_p^{\nu}\right) \left(\chi_u^{\nu} \cup \chi_a^{\nu}\right). \tag{4}$$

Сформированные классы  $K_{\text{ИСн}}$ ,  $K_{\text{ИСер}}$ ,  $K_{\text{ИСв}}(2-4)$  положены в основу идентификации выбора структуры измерительной ситуации.

Разработанная концептуальная модель позволяет идентифицировать вид и структуру измерительной ситуации при проведении теплофизических измерений с использованием интеллектуальной информационно-измерительной системы.

#### Список использованной литературы

Муромцев, Д. Ю. Алгоритмы классификации и распознавания образов исследуемых материалов в интеллектуальной информационно-измерительной системе / Д. Ю. Муромцев, З. М. Селиванова, Д. С. Куренков, В. И. Павлов, П. С. Беляев, О. В. Трапезникова // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. - № 2. – С. 107-112.

Симбаев А.Н. $^{1}$ , Слинин С.И. $^{1}$ , Зырянов Ю.Т. $^{2}$ 

# АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И КОМПЕНСАЦИЯ СРЫВА ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТА ТЕЛЕВИЗИОННЫМ СЛЕДЯЩИМ УСТРОЙСТВОМ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ТИПА

<sup>1</sup>«НИЦ ЦНИИ ВВС» (г. Щелково)

 $^2$  Tамбовский государственный технический университет

**Аннотация:** в статье предложен метод алгоритмической компенсации срыва в процессе сопровождения объекта корреляционным устройством. Ключевые слова. устройство корреляционного типа, срыв сопровождения.

Для получения непрерывной информации о фактических координатах положения объектов используется комплексирование различных средств. Непрерывная информация о прогнозируемом положении объектов, поступающая с системы счисления координат, используется для программного управления визирными системами. Визирные системы периодически используются для коррекции счисленных координат. Информация от таких систем в этом случае имеет более высокий приоритет по сравнению с системами счисления. При этом предполагается, что информация, поступающая от визирных систем достоверна и надежна. В современных комплексных системах для измерения координат объектов часто используется телевизионное (ТВ) следящее устройство корреляционного типа. Недостатком этой системы является то, что если происходит сбой в работе коррелятора, то пороговое устройство воспринимает эту ситуацию как возникшую ошибку слежения и отключает связь с вычислительным устройством, тем самым прерывая процесс непрерывного слежения за объектом. Поэтому предлагается для обеспечения бессрывного сопровождения объекта при возникновении сбоев в корреляторе за счет идентификации срыва слежения коррелятором автоматически передать приоритет в данной ситуации системе счисления координат. Сущность предлагаемого решения состоит в том, что в известное устройство слежения дополнительно вводится анализатор срыва процесса сопровождения. На рис.1 представлена структурная схема предлагаемого ТВ устройства корреляционного типа.

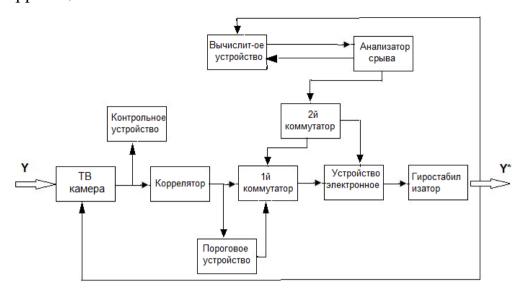


Рис. 1

Анализатор срыва процесса сопровождения построен на базе оптимального фильтра, адаптивного к сбоям автоматической системы. При этом индикатор срыва слежения целесообразно строить на основе анализа невязок в уравнениях фильтра [1,2]. Дополнение известного ТВ устройства анализатором срыва сопровождения позволяет без существенных изменений системы обеспечить бессрывное сопровождение объекта при возникновении внезапных сбоев в корреляторе за счет идентификации срыва слежения коррелятором и автоматической передачи приоритета системе счисления координат. Это позволяет существенно расширить область применения автоматических следящих систем.

- 1. Справочник по теории автоматического управления. / Под редакцией Красовского А.А. М.: Наука, 1987. С.191 195.
- 2. Симбаев А.Н. Фильтр, защищенный по отношению к отказам отдельных датчиков информационной подсистемы // Материалы межреспубликанской конференции. Тамбов: ТВВАИУ, 1993. С.349-350.

#### Скворцов А. А.

## КВАЗИАНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ШИРОКОПОЛОСНОСТИ ЛУНАРНОГО ВОЛНОВОДА

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., (г. Саратов)

**Аннотация:** Рассмотрена методика оценки полосы одноволнового режима работы лунарного волновода. Приводится сравнение результатов расчета коэффициента широкополосности лунарного волновода, полученных с применением квазианалитической методики и метода конечных элементов, показавшее их достаточно хорошее согласование

**Ключевые слова:** коэффициент широкополосности, лунарный волновод, прямоугольный волновод, квазианалитическая методика, метод конечных элементов.

В настоящее время в элементной базе техники СВЧ все большее применение находит лунарный волновод (ЛВ), позволяющий улучшить технические характеристики и существенно расширить функциональные возможности микроволновых систем, реализованных на его основе. Поскольку СВЧ-устройства, выполненные на базе рассматриваемой линии передачи, функционируют, как правило, на основной волне, важный практический интерес представляет квазианалитическая оценка полосы одноволнового режима работы анализируемой направляющей системы, определяемая коэффициентом широкополосности:

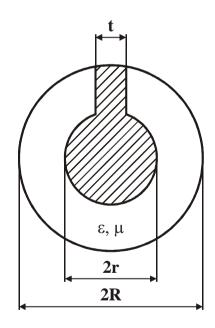


Рис. 1. Поперечное сечение ЛВ

$$\xi = \lambda_{c1}/\lambda_{c2} \,, \tag{1}$$

где  $\lambda_{c1}$  и  $\lambda_{c2}$  – критические длины основной и первой высшей волн ЛВ с однородным диэлектрическим заполнением, которые можно рассчитать исходя из его замены на эквивалентный прямоугольный волновод с размером широкой стенки  $\pi(R+r)-t$ , свернутый в

поперечной плоскости по окружности и заполненный однородным материалом с относительными диэлектрической ε и магнитной μ проницаемостями, по формулам [1, 2]:

$$\lambda_{c1} = 2[\pi(R+r) - t]\sqrt{\varepsilon\mu}, \qquad (2)$$

$$\lambda_{c2} = \left[\pi (R + r) - t\right] \sqrt{\varepsilon \mu}. \tag{3}$$

Как следует из выражений (1)–(3), при любых значениях геометрических размеров и электрофизических параметров однородного диэлектрического заполнения ЛВ его коэффициент широкополосности равен 2. Для подтверждения правильности рассмотренной квазианалитической методики (КМ) расчета коэффициента широкополосности ЛВ его результаты были сопоставлены с данными, полученными методом конечных элементов (МКЭ) при различных значениях геометрических размеров и электрофизических параметров однородного диэлектрического заполнения. Так, в табл. 1 в качестве примера приведены результаты расчета коэффициента широкополосности ( $\xi$ ) ЛВ ( $\epsilon = \mu = 1$ ), полученные МКЭ при различных значениях t/2R и r/R. Сопоставление результатов расчетов  $\xi$ , полученных КМ и МКЭ при  $0.1 \le t/2R \le 0.2$  и  $0.3 \le r/R \le 0.9$ , показало, что они достаточно хорошо согласуются, а их максимальное расхождение не превышает 3.4 %.

Табл. 1. Результаты расчета коэффициента широкополосности ЛВ, полученные МКЭ при различных значениях t/2R и r/R

t/2R	r/R	بح
0,1	0,3	1,95
	0,4	1,981
	0,5	1,994
	0,6	1,998
	0,7	2
	0,8	2
	0,9	2
0,2	0,3	1,935
	0,4	1,976
	0,5	1,992
	0,6	1,998
	0,7	2
	0,8	2
	0,9	2

Таким образом, рассмотренные в настоящей работе соотношения позволили получить квазианалитическую оценку коэффициента широкополосности ЛВ при различных значениях его геометрических размеров и электрофизических параметров однородного однородным диэлектрического заполнения с достаточной для практических целей точностью. Кроме того, рассмотренные выше выражения могут быть в дальнейшем адаптированы для квазианалитического расчета коэффициентом широкополосности ЛВ с частичным диэлектрическим заполнением.

#### Список использованных источников

- Вольман, В. И. Волноводы, обладающие широкой полосой одноволнового режима В. И. Вольман, В. Б. Каток // Радиотехника и электроника. 1978. № 2. С. 285–290.
- 2. Скворцов, А. А. К определению критических длин основной и первой высшей волн лунарного волновода / А. А. Скворцов // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы VI Междунар. научн.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов: Изд-во Першина Р. В., 2019. С. 155–156.

Скоморохов К.В.\*, Майоров М.А.\*\*

### СИНТЕЗ КРУГОВОГО МИКРОПОЛОСКОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В СУБМИЛЛМИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

\*Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов, \*\*Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов,

**Аннотация:** в статье рассмотрен анализ синтеза кругового микрополоскового излучателя в субмиллмиметровом диапазоне частот.

Современное развитие систем беспроводного широкополосного доступа повлекло увеличение диапазонов, отводимых для данных систем, разработку и внедрение сложных антенных систем и соответствующих методов обработки сигналов.

Любой микрополосковый излучатель представляет собой лист диэлектрика небольшой толщины с нанесенным с обоих сторон тонким медным покрытием [1].

Как правило общим недостатком МПА резонансного типа является их маленькая диапазонность, ширина рабочей полосы не превышает, как правило, нескольких процентов (по уровню коэффициента отражения, меньшего 0,5) [2].

Диаграмма направленности имеет вид

$$E_{\theta} = \cos \varphi J_1(k_0 a \sin \theta) \tag{1}$$

Результаты моделирования в программном продукте FEKO представлены на рисунке 1,2.

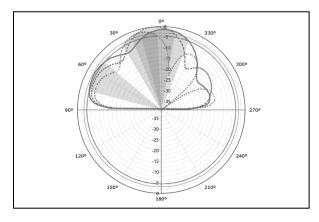


Рисунок 1 – Диаграмма направленности в полярной системе координат.

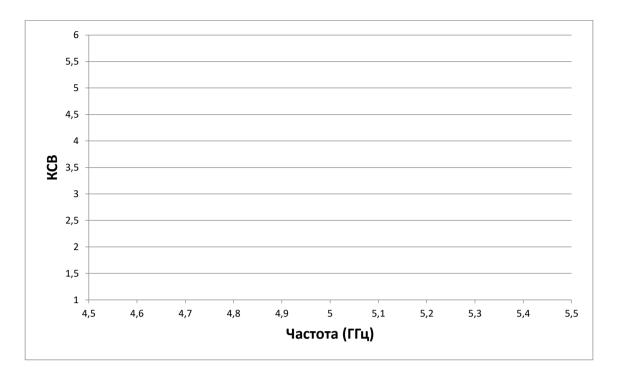


Рисунок 2 – КСВ.

Синтез микрополоскового излучателя состоит в определении размеров резонатора и выбора полосковой линии для получения заданной ширины главного лепестка ДН антенны [3].

Таким образом, применение микрополосковых излучателей для субмиллиметрового диапазона частот, позволит повысить надежность систем. За счет применения современных алгоритмов диаграммообразования имеется возможность интеграции в интеллектуальные беспроводные широкополосные самоорганизующиеся сети.

#### Список использованных источников

- Белоусов О.А. Фазированная антенная решетка для систем цифрового телевидения/ Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского.2014. №3(53) С. 62-68.
- 2. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. М.: Радиотехника, 2012.—744 с.
- 3. Белоусов О.А., Курносов Р.Ю., Горшков П.А., Рязанова А.Г. Синтез цилиндрической фазированной антенной решётки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16.// Вестник ТГТУ. 2015.№ 21. С. 266-272.

#### Скорик А.С., Рябов А.В.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТИ ДЕКАМЕТРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

**Аннотация:** в статье представлен анализ способов повышения устойчивости декаметровой радиосвязи, предложено дальнейшее повышение эффективности сети декаметровой связи на основе оптимизации энергетических параметров составляющих ее элементов.

**Ключевые слова:** декаметровая радиосвязь, устойчивость, энергетическая эффективность, адаптивное управление.

Несмотря на развитие систем спутниковой и сотовой связи, системы декаметровой (ДКМ) радиосвязи остаются востребованными, особенно в районах, слабо оборудованных в инженерном отношении, так как отличаются простотой развертывания и обслуживания сетей и направлений связи.

Основным недостатком ДКМ радиосвязи, снижающим ее эффективность, является многолучевость, обусловленная неоднородностью ионосферы и ее зависимостью состояния от ряда факторов [1]. Это приводит к замираниям принимаемых сигналов и межсимвольной интерференции. Меры борьбы с замираниями зачастую приводят к росту станционных помех, вызванных работой радиостанций средней и большой мощности на близких частотах. В этих условиях актуальной является задача повышения эффективности ДКМ радиосвязи на основе оптимизации энергетических параметров радиолинии при обеспечения требуемой устойчивости связи.

Способы повышения устойчивости, удовлетворяющие поставленной задаче, основываются на обеспечении значения отношения сигнал/шум на уровне не ниже требуемого [1, 2]. При этом, наиболее эффективные их них могут быть реализованы на основе применения направленных антенн, ретрансляции сигналов, разнесенного приема, компенсации помех, частотной адаптации, помехоустойчивых сигналов [2]. Однако, автономное или комплексное использование указанных методов не позволяет, в полной мере, одновременно обеспечить устой-

чивую радиосвязь и оптимизацию энергетических параметров радиолинии (мощность излучения передатчиков, коэффициент усиления антенн). Решение поставленной задачи возможно на основе адаптивного (к условиям ведения связи) управления энергетическими параметрами радиолинии при непрерывном мониторинге состояния ионосферы [2].Комплексное применение вышеперечисленных способов повышения устойчивости ДКМ радиосвязи создает условия для минимизации мощности излучения передатчиков до уровня, обеспечивающего требуемое качество связи. При этом выбор применяемых методов повышения устойчивости может быть реализован в автоматизированной системе ДКМ радиосвязи с адаптивным управлением структурным и параметрическим ресурсом [2].

В рамках структурной адаптации возможен выбор оптимальной структуры сети с набором элементов, обеспечивающих прямую передачи или ретрансляцию сигналов по оптимальному маршруту с минимальными энергетическими затратами. Далее, в рамках параметрической адаптации целесообразно производить настройку параметров сформированных радионаправлений (рабочая частота, мощность излучения, вид сигнала и др.) в целях обеспечения требуемой устойчивости связи при оптимизации энергетических параметров сети ДКМ радиосвязи.

Таким образом, для повышения энергетической эффективности сетей ДКМ радиосвязи при обеспечении требуемого качества связи необходимо обеспечить адаптивное управление энергетическими параметрами сети в рамках адаптивного управления ее структурой.

- 1. Березовский, В.А. Современная декаметровая радиосвязь: оборудование, системы и комплексы // В.А. Березовский, В.А. Дулькейт, О.К. Савицкий; под ред. В.А. Березовского— М.: Радиотехника, 2011. 444 с.
- Рябов А.В. Особенности пространственного сложения мощности передатчиков декаметрового диапазона / А.В. Рябов // Телекоммуникации: Ежемесячный производственный, научнотехнический, информационно-аналитический, и учебно-методический журнал. –М.: Наука и технологии, 2012. – № 9. – С. 22 – 28.

Соловьева И.А.\*, Соловьев Д.С.\*\*

# ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ ДЛЯ НАГРЕВА ЭЛЕКТРОЛИТА В ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ВАННЕ

\* Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов \*\* Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Россия, Тамбов

**Аннотация:** в работе рассматриваются особенности технической реализации системы управления энергоресурсами для нагрева электролита в гальванической ванне.

Ключевые слова: система управления, энергоресурс, гальваническая ванна.

Технологические процессы нанесения металлопокрытий (гальванотехника) применяются для защиты изделий от коррозии и защитно-декоративной отделки. Для каждого технологического процесса должны соблюдаться определенные критерии для достижения высокого качества продукта [1]. Одним из таких критериев является температура раствора. На качество наносимого покрытия оказывает влияние не только температура в основных операциях осаждения покрытия, но и в растворах и воде предварительной и последующей обработки и даже воздуха ванн сушилки. Из-за постоянного роста цен на энергоносители проблема нагрева раствора в гальванической ванне является актуальной. Достижение и поддержание заданной температуры является как правило трудоемким процессом, поэтому рационально использовать системы автоматического управления. Цель системы управления — достижение точности поддержания заданной температуры раствора в гальванической ванне. Средством воздействия для поддержания температуры раствора служит набор взаимосвязанных устройств, подбор и расчет конструкционных параметров которых является не менее сложным процессом.

Для нагрева или охлаждения растворов в ваннах используют теплообменные устройства. Так же для нагрева широко используют электронагреватели. Выбор типа устройства зависит от [2]: требуемой конечной температуры раствора; требуемой мощности устройства; возможных индивидуальных технологических условий. На рис. 1 приводится реализация системы управления температурой раствора в гальванической ванне.

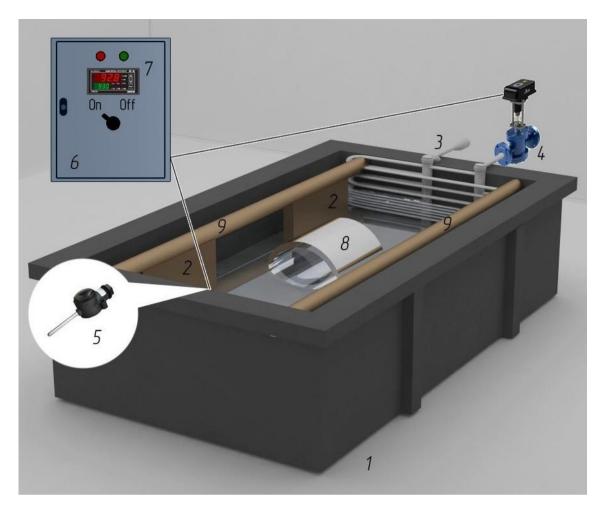


Рис. 1 Реализации системы управления

Система управления содержит гальваническую ванну, аноды, теплообменник, клапан запорно-регулирующий, датчик температуры, электромонтажный шкаф с регулятором, обрабатываемую деталь и балку крепления анодов и детали. В предложенной реализации системы при использовании ПИД-регулятора управление происходит путем изменения расхода теплоносителя на входе в теплообменник, то есть клапан, изменяя пропускную способность, регулирует нагрев.

- 1. Истомина, Н.В. Оборудование электрохимических производств. Учебное пособие / Н.В. Истомина, Н.Г. Сосновская, Е.Н. Ковалюк. Ангарск: АГТА, 2010. 100 с.
- 2. Милованов, И.В. Выбор и управление температурными режимами в гальванических ваннах / И.В. Милованов, С.А. Васильев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2002. Т. 8. № 3. С. 473-478.

Тененбаум Г.А., Качурин А.А., Жалнин В.П.

### МЕМРИСТОРЫ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И НЕЙРОМОРФНЫХ СИСТЕМ

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

#### Введение

Искусственные нейронные сети (ИНС) строят взаимосвязь искусственных нейронов через искусственные синапсы в так называемых глубоких нейронных сетях. После обучения сети она может анализировать данные и предоставлять полезную информацию. Весьма перспективным представляется создание ИНС на базе мемристорных ячеек, являющихся неорганическим аналогом синапса головного мозга. Обучение такой сети фактически сводится к необходимости подачи на вход коротких скачков напряжения, при этом энергетическая эффективность существенно улучшается. Первые аппаратные реализации данных систем были основаны на комплементарных схемах металл-оксидполупроводник (КМОП).

В настоящее время растет интерес к аппаратной реализации с использованием нейроморфных систем. Это упорядоченные сети электронных устройств, реализующих искусственные нейроны и их синаптические взаимосвязи. Однако эти системы являются дорогостоящими с точки зрения площади и потребления энергии. Эти недостатки побудили исследовать другие аппаратные альтернативы, которые сочетают КМОП для реализации нейронов и мемристоры для синапсов.

# Какие типы мемристоров и с какими характеристиками подходят для создания нейронных сетей?

Для создания нейронных сетей обычно используются мемристоры на основе оксидов металлов (в основном в двойных оксидах, таких как Ta2O5, Al2O3, HfO2, TiO2, и т.д.).

В зависимости от предыстории функционирования мемристора, его электрические характеристики изменяются, что является схожим со свойствами синапса биологических нейронных систем [1].

Также существуют мемристоры типа Pt/TiO2/TiOx/Pt и TiN/Ti4O7/TiO2/TiN.Одним из отличий данных структур является отсутствие необходимости предварительной "формовки" для получения эффекта мемристивности.

Ключевой особенностью данных мемристоров является меньшее количество фазовых состояний соединений тантала с кислородом по сравнению с соединением титана с кислородом. Под действием импульса напряжения изменение фазового состояния барьера у мемристора на основе тантала происходит более однозначно [2]. По итогам исследований стало ясно, что мемристорные структуры Pt/TiO2/TiOx/Pt требуют доработки, так как платина является дорогостоящим материалом. Также необходимо использовать более усовершенствованные технологические процессы, например, атомно-слоевое осаждение (ACO) [3].

### Преимущество сетей на мемристорах по сравнению с сетями на обычных электронных компонентах

В предыдущие годы в качестве элементной базы для нейронных сетей использовались ПЛИС, у которых есть ряд недостатков по сравнению с мемристорами: сложность использования ПЛИС в нейросетях больших и сверхбольших масштабов, требует специальной интегрированной среды и языка программирования для разработки, имеет высокие аппаратные затраты. Также использовались аналоговые СБИС, в которых явным недостатком являлся усложненный алгоритм обучения[4].

Многие проблемы по-прежнему необходимо решать на уровне материала, устройства и системы, чтобы одновременно достичь высокой точности, низкой изменчивости, высокой скорости, энергоэффективности, малой площади, низкой стоимости и хорошей надежности. Необходимо также улучшать технологические процессы производства мемристоров нанометровых размеров (менее 30-50нм) для того, чтобы производство мемристоров стало рентабельным.

Отдельные результаты исследований получены в рамках Гранта РФФИ №19-07-00463.

#### Список использованной литературы

https://mipt.ru/dpqe/for\_students/materials/f\_26r1tt/memristor/
 Memristor.\_Making\_and\_research.pdf

- 2. Yang J., Strukov D.B. and Stewart D.R. Memristive devices for computing. Nature Nanotechnology, 2013, 8
- 3. Nickel J. Memristor Materials Engineering: From Flash Replasement Towards a Universal Memory. HP Lab. IEDM AdvansedMemoryTechnologyWorkshop. 2011, 4
- 4. Грибачев В.П. Элементная база аппаратных реализаций нейронных сетей. Компоненты и Технологии 2006, 8

*Тюрин И.В.*\*, *Токарев Р.А.* \*\*

# ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ЭНЕРГОЕМКИМИ ОБЪЕКТАМИ

- \* Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов,
- \*\* Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов,

**Аннотация:** Рассматриваются интеллектуальные системы управления двухконтурной водонагревательной гелиоустановкой пригодной и для других объектов.

Ключевые слова: энергосбережение, прототип, система управления.

Проектирование интеллектуальной системы, пригодной для различных объектов управления и позволяющей оперативно реализовывать оптимальное управление режимами сложными объектами, является актуальной задачей.

Рассмотрим упрощенную структуру интеллектуальной системы энергосберегающего управления двухконтурной водонагревательной гелиоустановкой (см. рис. 1).

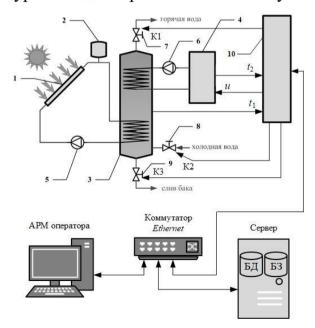


Рис. 1. Структура прототипа интеллектуальной управляющей системы:

1 — солнечный коллектор; 2 — расширительный бак; 3 — бак-аккумулятор; 4 — котел; 5, 6 — насосы; 7 — 9 — вентили; 10 — микропроцессорный блок управления.

Для нагрева воды до нужной температуры, а затем поддержания ее в заданных диапазонах, происходит периодическое включение нагревательных элементов электрокотла. Управляющее воздействие u формируется блоком управления с учетом сигналов обратной связи, поступающих от датчиков температуры  $(t_1, t_2)$ . Подача холодной воды, разбор горячей и слив бака формируются сигналами управления на клапанах K1 - K3.

Электронная схема системы управления выполнена на базе промышленного контроллера *WinCon* 8737G с быстродействием процессорного блока 206 МГц.

БЗ наполнена сведениями от экспертов, результатами полного анализа оптимального управления, методами, моделями и алгоритмами идентификации.

Процесс нагрева воды в котле до температуры 80 - 90°С, в зависимости от объема котла, занимает от 1 до 4-х часов, поэтому энергосберегающее управление ДИЭ позволит сэкономить до 5 - 10% электроэнергии.

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта РФФИ № 18-08-00555-а «Разработка методологии построения помехоустойчивых информационно-управляющих систем многомерными объектами на множестве состояний функционирования».

- Ануфриев В., Афанасьев С. Интеллектуальные датчики в информационно-управляющих системах: развитие, элементная база и ПО. // Компоненты и технологии. 2017. № 9 (194). С. 30-41.
- 2. Швецов А.Н., Суконщиков А.А., Кочкин Д.В. и др. Распределенные интеллектуальные информационные системы и среды: монография. Курск, ЗАО «Университетская книга», 2017 г. 197 с.
- 3. Чернышов Н.Г., Муромцев Д.Ю. Особенности создания систем энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования// Автоматика и вычислительная техника. 2008, №3. С 74-82.

Хворова Н.А., Долгов С.Б., Шамкин В.Н.

# ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ НА ПРОИЗВОДЯЩЕМ РАДИОЭЛЕКТРОННУЮ ПРОДУКЦИЮ ПРЕДПРИЯТИИ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

Тамбовский государственный технический университет

**Аннотация:** обсуждаются вопросы повышения эффективности управления персоналом предприятия в условиях пандемии, когда использовать некоторые из традиционных принципов управления становится уже невозможным.

Ключевые слова: мотивация, персонал, пандемия, предприятие, ресурс.

В современных условиях, порождаемых пандемией, возникло множество ранее неизвестных угроз как для отдельных людей, коллективов, предприятий, так и экономики в
целом, реализация которых создает огромные проблемы во всех сферах жизни человека.
Успешного, да и вообще какого-либо, опыта реагирования на эти угрозы не накоплено
ни отдельными категориями профессионалов, ни человечеством в целом. Поэтому актуальной является попытка разобраться хотя бы с отдельными из возникающих в этой связи проблем.

В рыночной экономике предприятие является одним из её основных звеньев. Именно на этом уровне создаётся нужная обществу продукция, оказываются необходимые услуги. Здесь сосредоточены наиболее квалифицированные кадры, решаются вопросы применения современной высокопроизводительной техники и технологий, экономного расходования ресурсов.

Персонал организации — самый сложный объект управления. В отличие от материальных активов, люди способны самостоятельно принимать решения и оценивать предъявляемые к ним требования. Кроме того, персонал — это коллектив, каждый член которого имеет свои интересы и весьма чувствителен к управленческим воздействиям, причем реакцию на них нередко сложно предугадать. Именно персонал предприятия в условиях вирусной пандемии подвержен наибольшему негативному воздействию — заболеваниям, психологической депрессии, неадекватной реакции на ограничительные меры и др.

Управление персоналом базируется на нескольких важных принципах [1]: подборе персонала по деловым и личным качествам; преемственности; должностном и профессиональном продвижении работников; открытом соревновании; сочетании доверия к работникам и проверки исполнения распоряжений; соответствии порученной работы исполнителю; автоматическом замещении отсутствующего сотрудника; повышении квалификации; правовой защищенности.

Необходимый уровень компетентности на предприятии, производящем радиоэлектронную продукцию, обеспечивается путем правильного подбора, своевременной 
подготовки и повышения квалификации персонала, необходимых для реализации политики предприятия, целей и задач в области качества. Это взаимообусловленный процесс, 
оказывающий влияние как на эффективность труда, так и на качество кадрового потенциала предприятия. Оно обязательно для всех сотрудников, занятых в производственном 
процессе, независимо от занимаемой должности, и, в первую очередь, к руководителям 
предприятия, тем, кто принимает стратегические управленческие решения, кто несет ответственность за развитие предприятия, за постоянное обновление продукции и реализацию новых технологических и организационных решений.

В условиях пандемии при управлении персоналом реализовать некоторые из принципов невозможно из-за существенной неоднородности персонала предприятия по ряду важных признаков (возраст, образование, профессия и др.) и разного реагирования этих групп на последствия вирусной инфекции.

Кадровой службе уже недостаточно только оформлять приказы и распоряжения, хранить кадровую информацию. Она должны превратиться в центр по разработке и реализации в условиях пандемии стратегии, цель которой сокращение и минимизация возникающих от неё потерь, сохранение производственной, творческой отдачи и активности персонала, сохранение рабочих мест, обеспечение справедливой оплаты труда.

#### Список использованных источников

1. Управление персоналом в России: теория, отечественная и зарубежная практика: монография /[ Б.М. Генкин и др.] – М.: Инфра, 2018. – 282 с.

#### Хрипунова А.С.,Гниломёдов Е.В.

# МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ НАУЧНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ КОМПАНИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

ООО «Научно-исследовательский институт трубопроводноготранспорта»

Аннотация: В статье представлен один из возможных подходов повышения эффективности развития научного потенциала топливно-энергетической отрасли за счет цифровизации управления научным потенциалом компаний топливно-энергетического комплекса (ТЭК), автоматизации процесса анализа и оценки научно-технических разработок компаний путем внедрения интеллектуальных информационно-управляющих систем поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** компании топливно-энергетического комплекса, цифровизация, научно-технические разработки, система поддержки принятия решений.

В настоящее время цифровизация компаний топливно-энергетических комплекса (ТЭК) развивается в ускоренном темпе, практически становится синонимом конкуренто-способности и открывает доступ к рынкам будущего. Это связано с большим потоком информации и, как следствие, необходимостью обработки огромных массивов данных, возникающих в крупных компаниях ТЭК. Современные цифровые технологии позволяют не только автоматизировать и оптимизировать деятельность отдельных предприятий, но и обеспечивают организацию их взаимодействия и оптимальное управление ТЭК в целом.

Таким образом, цифровые технологии внедряются в сквозной процесс работы компаний ТЭК, который включает не только производственные этапы, но и сопутствующие этапы организационной деятельности компании.

Для научных подразделений компаний ТЭК актуальным является совершенствование системы научной деятельности, путем создания системы управления, основанной на когнитивном анализе данных, включающих научно-исследовательские и конструкторские работы, публикационную деятельность сотрудников компании, патентные исследования и другие научно-технические разработки.

Потребность в создании интеллектуального управления научным потенциалом определяется растущим объемом неструктурированной информации, хранимой и передаваемой в виде различного вида документов и файлов, сложностями извлечения из этих массивов данных требуемой информации, отсутствием средств системного анализа и обработки научно-технической информации, трудностями учета накопленного опыта и др. Данная информация распределена между несколькими хранилищами, в которых не предусмотрены процедуры управления и поиск анаучно-технической информации. Все это затрудняет доступ к научно-техническим разработкам и проведение их системного анализа, мешает организовать трансфер знаний внутри научных подразделений и в целом компании ТЭК, оптимизировать бизнес-процессы и создавать инновационные решения на базе научного потенциала компании.

Выходом из сложившейся ситуации видится создание интеллектуальной информационно-управляющей системы анализа научно-технических разработок компаний ТЭК (ИУС НТР ТЭК), с целью оказания помощи при определении наиболее важных и критических направлений научных исследований.

Эффективность деятельности ТЭК в целом будет определяться, в том числе, качеством полученных от ИУС НТР ТЭК решений-рекомендаций. Поскольку каждому решению соответствует конкретный результат применения и внедрения, и, следовательно, конкретное значение показателя эффективности деятельности ТЭК. Общее выражение для определения эффективности применения ИУС НТР ТЭК для анализа научнотехнических разработок компании можно представить в следующем виде:

$$W_{\rm p} = \sum_{i=1}^{N} P_i W_{\rm p_i}$$

где  $P_{i}$ — вероятность принятия i-го решения-рекомендации по проведению критически важных для отрасли научных исследований(  $i=\overline{1N}$ );

 $W_{pi}$ —значение показателя эффективности деятельности ТЭК при условии принятия i-го решения-рекомендации;

N – число возможных для конкретной области решений-рекомендаций.

Представляется, что предложенный методический подход по созданию ИУС НТР ТЭК исключит дублирование проведения научных исследований и разработок, будет

способствовать принятию наилучших управленческих решений по проведению наиболее актуальных и важных научных исследований, а в итоге — росту эффективности развития научного потенциала топливно-энергетической отрасли и деятельности ТЭК в целом.

- 1. Голицын Лев, Романова Ольга «Отчет IDC«Как искусственный интеллект улучшает корпоративный поиск и доступ к информации?»// Neftegaz.ru№2, 2019.
- 2. Министерство энергетики РФ «Цифровизация энергетики» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства энергетики РФ 2019 https://in.minenergo.gov.ru/energynet
- 3. Иванов П.Е, Хрипунова А.С. «Инновационный подход использования интеллектуальных систем для проведения конкурса» // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции в 4 частях. М.: ООО «АР-Консалт», 2014.

Шепелёв Н.И. $^{1}$ , Ожогина Л.С. $^{1}$ 

#### АНАЛИЗ РАБОТЫ СХЕМЫ АТТРАКТОРА ЛОРЕНЦА В ПРОГРАММЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МІСКО-САР

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (г. Тамбов)

**Аннотация:** Проводится анализ схемы аттрактора Лоренца путем составления принципиальной электрической схемы и моделированием на выходе переходного процесса в программе схемотехнического моделирования Micro-Cap.

Ключевые слова: аттрактор Лоренца, Місто-Сар, переходный процесс.

Первоначально аттрактор был открыт Эдом Лоренцем в 1961 году и описывает, как состояние нелинейной трёхмерной динамической системы изменяется во времени хаотическим образом. Разработанная схема приведена на рисунке 1. [1]

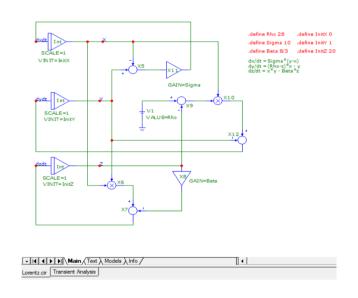


Рис. 1 — Схема аттрактора Лоренца в программе схемотехнического моделирования Місго-Сар

Схема составлена из 3 интеграторов dx (dt), dy (dt) и dz (dt) с заданными им параметрами Init(x)=0, Init(y)=1, Init(z)=20 соответственно. [2] Элементы  $X_8$ ,  $X_{11}$  – операционные усилители,  $V_1$  – батарея.  $X_5$ ,  $X_9$ ,  $X_{12}$  являются вычитателями, а  $X_6$ ,  $X_{10}$  – множителя-

ми. Чтобы смоделировать схему и построить переходный процесс, запишем нелинейную систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases}
\sigma * (y - x) \\
(\rho - z) * x - y \\
x * y - \beta - z
\end{cases} \tag{1}$$

Данная схема реализует эти уравнения с переменными x, y и z. Присвоим константам значения  $\rho=28$ ,  $\sigma=10$ ,  $\beta=8/3$  и составим переходный процесс, который приведен на рисунке 2. [3]

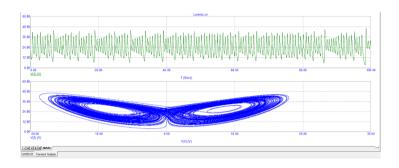


Рисунок 2 — Переходный процесс аттрактора Лоренца в программе схемотехнического моделирования Micro-Cap

Сущность вышеизложенного сводится к тому, что в модели Лоренца все три состояния равновесия неустойчивы и траектории из их окружения притягиваются к хаотическому аттрактору. Данная модель является реальным физическим примером динамических систем с хаотическим поведением.

- 1. 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
- 2. 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

3. Чернышов Н.Г., Цыганков Р.В., Чикаев К.В. Построение системы телеметрии энергоемкими объектами с использованием промышленных контроллеров ICP DAS. Вопросы современной науки и практики , №1, 2015.-C225-230.

#### Шибирина И.О., Чернышов Н.Г.

# АКТУАЛЬНОСТЬ И ВАЖНОСТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОПТИМИЗАЦИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

**Аннотация:** Рассмотрены актуальные вопросы промышленного энергосбережения, управления энергозатратами, способы оптимизации и повышения энергопотребления и энергоэффективности.

На данный момент вопрос энергосбережения в современной промышленности является одним из приоритетных. Это напрямую связано с большим дефицитом основных энергоресурсов, постоянно возрастающей стоимостью их добычи, а также непосредственно с глобальными проблемами экологии.

От результатов решения этого вопроса в целом зависит уровень жизни граждан и место нашего общества в ряду развитых в экономическом отношении стран. Россия однозначно располагает всеми необходимыми природными ресурсами и интеллектуальным потенциалом для достаточно успешного решения данных энергетических проблем.

Реализация уже освоенных в нашей отечественной и мировой практике организационных и технологических мер по экономии энергоресурсов способна к следующему году уменьшить их расход в стране на 37-47% или на 360-430 млн. т. у. т. в год. Около трети потенциала энергосбережения имеют отрасли ТЭК (топливно-энергетическом комплексе), еще целая треть сосредоточена как раз в энергоемких отраслях промышленности, свыше четверти — в жилищно-коммунальном хозяйстве, 7% - на транспорте, 5% - в федеральной бюджетной сфере и 3% - в сельском хозяйстве, как видно на рисунке 1.

Еще раз нужно подчеркнуть, что современная промышленность имеет около трети всего потенциала России в вопросе энергосбережения. А, в свою очередь, отопление и электроснабжение объектов недвижимости, то есть процесс потребления, является одной из самых больших статей расходов любого предприятия, до 60%, когда в свою очередь потери при передачи электроэнергии составляют всего лишь около 10%, поэтому особое внимание следует уделить именно этой проблеме энергосбережения.

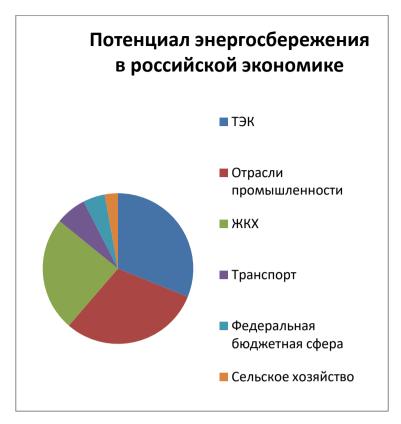


Рисунок 1 – Потенциал энергосбережения российской экономики

Энергосбережение определяется как система организационно-управленческих и технико-технологических мероприятий по полному и комплексному использованию энергетических ресурсов и уменьшению затрат энергии при производстве продукции или услуги. В таблице 1 наглядно видно, как распределяются энергетические потери по стадиям производства.

Показатель	Потери полные, млн.т.у.т.
Добыча, переработка и транспортировка топлива	0,4
Генерирование электроэнергии	5,8
Выработка теплоты	2,2
Потери в электросетях	1
Потери в теплосетях	1
Потребление электроэнергии	1,4
Потребление теплоты	3,1
Непосредственное потребление топлива	6,4
Всего потерь	21,3

Таблица 1 – Распределение энергетических потерь по стадиям производства

К основным признакам, характеризующим процесс энергосбережения в промышленности относятся: снижение количественного потребления ТЭР; эффективное внедрение природных не возобновляемых ТЭР; привлечение в хозяйственный оборот новых возобновляемых источников энергии. Однако в среднем, до 15 % электроэнергии и до 50 % тепловой энергии теряются еще на пути к потребителю. Потери энергии при этом обусловлены рядом признаков. Это и свойства зданий и сооружений, и достаточно неэкономичные электронные приборы, используемое оборудование, а также общий низкий уровень потребления ресурсов.

По видам деятельности управление энергосбережением в промышленности считается инновационной, финансовой, организационной, производственной, экономической и др. видами деятельность на основе нормативно-правовых документов по принятию и реализации решений в области уменьшения энергопотерь и энергозатрат, оптимизации энергопотребления, повышения энергоэффективности и самое главное, формирования потенциала энергосбережения.

Управление энергосбережением в промышленности можно описать как процесс, представленный системой взаимосвязанных функций, а именно: прогнозирования энергопотребления; планирования и непосредственной организации производства, поставок и потребления энергии; мотивации энергосбережения; учета и анализа энергопотерь и энергозатрат; оценки потенциала энергосбережения; контроля энергопотерь, энергозатрат, энергопотребления; общего регулирования всех процессов, связанных с реализацией этих функций, которые направлены на поддержание энергосбережения в состоянии, обеспечивающем нужную высокую энергоэффективность.

В итоге хотелось бы сказать, что энергосбережение из когда-то популярного лозунга уже давно превратилось в насущную необходимость. Большой недостаток электромощностей и природного газа в периоды сильных похолоданий, глобальная борьба с выбросами парниковых газов говорят нам о необходимости кардинального изменения отношения к энергосбережению.

#### 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.

#### Шибирина И.О.

#### ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Тамбовский государственный технический университет

На сегодняшний день проблема энергосбережения в промышленности стоит на одном из первых мест по актуальности, так как от этого напрямую зависит место нашего общества в ряду других стран и уровень жизни граждан. Потребность в энергосбережении связана с дефицитом энергоресурсов, возрастающей стоимостью их добычи и глобальными проблемами экологии.

Россия располагает большим интеллектуальным потенциалом и всеми необходимыми природными ресурсами для успешного решения данных энергетических вопросов. Ведь в данный момент реализация уже освоенных организационных и технологических мер по экономии энергоресурсов способна уменьшить их расход в стране уже к следующему году на 37-47% или на 360-430 млн. т. у. т. в год.

Потребление электроэнергии является одной из самых больших статей расходов любого предприятия, до 60%, когда потери при передачи электроэнергии составляют всего лишь около 10%, поэтому особое внимание следует уделить именно этой проблеме энергосбережения.

В целом энергосбережение можно представить в виде системы организационноуправленческих и технико-технологических мероприятий по полному и комплексному использованию энергетических ресурсов и уменьшению затрат энергии при производстве продукции или услуги.

При энергосбережении особое внимание уделяют снижению количественного потребления ТЭР; эффективному внедрению природных не возобновляемых ТЭР; привлечению в хозяйственный оборот новых возобновляемых источников энергии. Но не исключены и потери энергии.

В промышленности управление энергосбережением представляет собой системой взаимосвязанных функций: прогнозирования энергопотребления; планирования

и организации производства; мотивации энергосбережения; учета и анализа энергопотерь и энергозатрат; оценки потенциала энергосбережения; контроля энергопотерь, энергозатрат, энергопотребления; общего регулирования всех процессов, обеспечивающих нужную высокую энергоэффективность.

Таким образом, можно сделать вывод, что энергосбережение должно быть и оно стало нашей насущной необходимостью, актуальным вопросом, над которым работают большое количество людей. Нам важно изменить отношение к нему, так как большой недостаток электромощностей и природного газа в периоды сильных похолоданий, глобальная борьба с выбросами парниковых газов давно говорят нам об этом.

- 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.

#### Юдин А.В., Юдин В.В.

#### ЭКВИВАЛЕНТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ПОЛЕЙ РАССЕИВАНИЯ

ФГБОУ ВО "Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева"

Трансформаторные элементы являются важнейшей частью электроэнергетических систем. При этом одним из факторов, затрудняющих цифровую трансформацию электроэнергетики, создание цифровых двойников, является сложность теоретического анализа электромагнитной системы трансформатора, обусловленная необходимостью составления совестной системы уравнений для электрической и магнитной цепей. Наиболее удобным для решения этой задачи является использование матричного подхода, основанного на методе объединенных матриц [1]. Сущность его состоит в следующем. Исследуемую схему заменяют электромагнитной цепью, под которой понимают совокупность электрической и магнитной цепей, связанных системой обмоток. Описание топологии электрической и магнитной цепей осуществляется с помощью контурно-ветвевых матриц  $\Gamma_{EE}$  и  $\Gamma_{MM}$ .

Задание связи осуществляют матрицей ветвевой электромагнитной связи

$$W_{EM < n_B, m_B >} = \begin{pmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1m_B} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2m_B} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{n_B 1} & w_{n_B 2} & \dots & w_{n_B m_B} \end{pmatrix}$$

элементами  $w_{ij}$  которой являются числа витков обмотки, размещенной на i-м стержне магнитной цепи, которая включена в j-ю ветвь электрической цепи, взятая со знаком плюс или минус в зависимости ее направления. Эти матрицы совместно с матрицей ветвевых сопротивлений электрической цепи  $Z_B^E$ , матрицей ветвевых сопротивлений магнитной цепи  $Z_B^M$  и матрицей ветвевых э.д.с.  $E_B$  определяют систему уравнений электромагнитной цепи для матрицы токов и магнитных потоков

$$\begin{split} & \boldsymbol{\varGamma}_{\mathit{EE}} \boldsymbol{E}_{\mathit{B}} = \boldsymbol{\varGamma}_{\mathit{EE}} \boldsymbol{Z}_{\mathit{B}}^{\mathit{E}} \boldsymbol{I}_{\mathit{B}} + p \boldsymbol{\varGamma}_{\mathit{EE}} \boldsymbol{W}_{\mathit{EM}} \boldsymbol{\Phi}_{\mathit{B}} \\ & 0 = \boldsymbol{\varGamma}_{\mathit{MM}} \boldsymbol{W}_{\mathit{EM}}^{\mathit{T}} \boldsymbol{I}_{\mathit{B}} + \boldsymbol{\varGamma}_{\mathit{MM}} \boldsymbol{Z}_{\mathit{B}}^{\mathit{M}} \boldsymbol{\Phi}_{\mathit{B}} \end{split}, \text{ где } p \text{ —оператор дифференцирования.} \end{split}$$

Магнитный поток, пронизывающий каждую из обмоток, содержит две составляющие: поток, проходящий непосредственно через магнитопровод, и поток, проходящий, минуя его. С учетом этого обстоятельства систему уравнений электромагнитной цепи представим в виде

$$\begin{split} & \boldsymbol{\Gamma}_{\mathit{EE}}\boldsymbol{E}_{\mathit{B}} = \boldsymbol{\Gamma}_{\mathit{EE}}\boldsymbol{Z}_{\mathit{B}}^{\mathit{E}}\boldsymbol{I}_{\mathit{B}} + p\boldsymbol{\Gamma}_{\mathit{EE}}\boldsymbol{W}_{\mathit{EM}}\left(\boldsymbol{\Phi}_{\mathit{B}} + \boldsymbol{\Phi}_{\mathit{BS}}\right), \\ & \text{где} \quad \boldsymbol{\varPhi}_{\mathit{SB}} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\varPhi}_{\mathit{SB}1} & \boldsymbol{\varPhi}_{\mathit{SB}2} & \dots & \boldsymbol{\varPhi}_{\mathit{SBn}_{\mathit{B}}} \end{pmatrix}^{\! \mathrm{\scriptscriptstyle T}} - \text{вектор потоков рассеяния обмоток.} \end{split}$$

В общем случае поток рассеяния каждой из обмоток формируется совместным действием всех токов электрической цепи. Поэтому вектор потоков рассеяния целесообразно представить в виде

$$\Phi_{\mathit{SB}} = \mathit{AI}_{\mathit{B}}, \; \mathit{где} \;\; A_{_{< m_{\mathit{B}}, n_{\mathit{B}}>}} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n_{\mathit{B}}} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n_{\mathit{B}}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m_{\mathit{B}}1} & a_{m_{\mathit{B}}2} & \dots & a_{m_{\mathit{B}}n_{\mathit{B}}} \end{pmatrix} - \; \mathit{прямоугольная} \;\; \mathit{матрица}, \;\; a_{\mathit{ij}} \!\!-\!\!\; \mathsf{\check{u}}$$

элемент которой количественно характеризует степень влияния j-й ветви электрической цепи на величину потока рассеяния в i-м стержне магнитной цепи. На основании изложенного получим уточненное уравнение для ветвевых величин

$$\Gamma_{EE}E_B = \Gamma_{EE}(Z_B^E + pW_{EM}A)I_B + p\Gamma_{EE}W_{EM}\Phi_B$$

Сравнение полученного уравнения с исходным позволяет сделать вывод о том, что учет полей рассеяния с формальной точки зрения эквивалентен введением в электрическую цепь индуктивностей рассеяния  $L_{\!\scriptscriptstyle B} = W_{\!\scriptscriptstyle EM} A$  .

#### Список использованной литературы

1. Юдин В.В. Обобщенное описание электромагнитных устройств для установок электрофизической обработки металлов//Юдин В.В., Юдин А.В./Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2018. № 1 (44). С. 94–99.

#### Юрченко С.П., Усмонов И.С.

#### ОЦЕНКА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ РАДИОЛИНИЙ С МЕДЛЕННОЙ ППРЧ

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж

В настоящее время в авиационных радиосетях специального назначения все чаще используют радиостанции с программной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ).

На основе рекомендации Международного союза электросвязи МСЭ-R P.528.3 [1] были получены данные об отношении мощностей полезного сигнал к помехе в зависимости от дальности между радиостанцией и воздушным судном. Интерфейс разработанной программы с исходными данными представлен на рисунке 1.

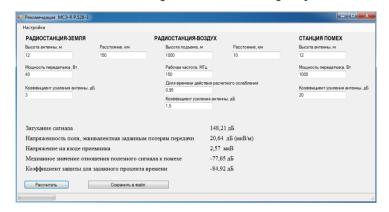


Рисунок 1 — Интерфейс программы и исходные данные для оценки качества воздушной радиолинии

Используя полученные данные в формуле 1, дают возможность оценить дальность радиосвязи при преднамеренной шумовой помехи для заданной достоверности [2], результаты расчета представлены на рисунках 1, 2.

$$P_{e} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{G_{o}}{Es} + \frac{P_{j}}{\gamma \cdot K_{s} \cdot P_{s}} \right)^{-1} \right] + \frac{1}{2} \cdot (I - \gamma) \cdot \exp \left( -\frac{E_{s}}{G_{o}} \right), \tag{1}$$

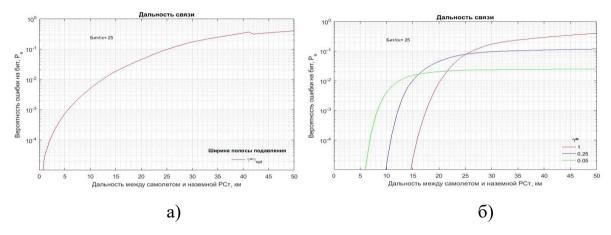


Рисунок 2 — Вероятность ошибки при передаче на одном частотном скачке 25 бит а) для неоптимальной, б) оптимальном шумовой помехи

Представленные зависимости на рисунке 2 позволяют определить дальность авиационной радиосвязи в условиях воздействия шумовой помехи для заданной вероятности ошибки на бит. Например, для  $10^{-5}$  и  $\gamma = 0.05$  (5%) (части полосы занимаемой помехой) дальность связи 6 км, а с увеличением  $\gamma$  возрастает до 15 км по причине снижения спектральной мощности помехи, рисунок 2а. При воздействии оптимальной шумовой помехи с  $\gamma = \gamma_{opt} \approx \frac{2P_j}{K_s P_s}$ , (случайным образом перестраиваемая в полосе частот канала) наблюдается существенное снижение дальности связи, рисунок 2б.

Таким образом рассмотренный подход позволяет рассчитать дальность радиосвязи с воздушными судами по цифровым каналам радиосвязи с учетом условий распространения радиоволн при воздействии преднамеренный шумовых помех.

- 1. Рекомендация Международного союза электросвязи МСЭ-R Р.528-3. Ж.: МСЭ, 2013. 49 с.
- 2. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е., Мухин Н.П., Шестопалов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. М.: Радио и связь, 2000. 384 с.

# СЕКЦИЯ 2. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ТЕПЛОТЕХНИКИ

Бушуев А.С., н. рук. Рахимова Ю.И.

#### МЕТОДИКИ АНАЛИЗА

#### ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЦЕЛЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ РЕКУПЕРАЦИИ ВТОРИЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Самарский государственный технический университет

**Аннотация:** освещаются наиболее актуальные методики анализа систем рекуперации вторичной энергии. Отмечены параметры при проведении структурного анализа. Определена степень термодинамического совершенства системы с помощью термодинамического анализа и эксергетического метода.

Ключевые слова: энергетические ресурсы, энергия, конденсат, эксергия, рекуперация.

Развитие энергосберегающих технологий является главным направлением научнотехнического прогресса в разных областях промышленности. Эффективным и перспективным решением данного вопроса является организация системы рекуперации вторичной энергии. Вторичная энергия — это наиболее удобные формы энергии: дымовые газы, конденсат, нагретая техническая вода, пар, теплота от продукции, которые преобразуются из других, первичных источников энергии, за счет преобразовательных процессов. Для подбора наиболее эффективной системы рекуперации необходимо использовать актуальные методики анализа, такие как: анализ структурной организации производств, располагающих вторичными энергоресурсами; анализ организованных систем рекуперации; анализ тепловой и эксергетической эфффективности.

Структурный анализ устанавливает: связь между элементами схем производств; связь между параметрами входных и выходных потоков для каждого элемента и схемы в целом; наилучшую последовательность расчёта для выбора эффективных энергосберегающих мероприятий. К таким мероприятиям относится система рекуперации вторичной энергии с включением теплоутилизационного оборудования. В состав данного оборудования входят: котлы утилизаторы, трансформаторы тепловой энергии, теплообменники различного вида, тепловые насосы.[1]

Проведение структурного анализа, определяет следующие параметры: термомеханическую эксергию, химическую эксергию, КПД элементов системы. Определяется степень термодинамического совершенства системы с помощью термодинамического анализа и эксергетического метода. По данному методу можно определить потери от необратимости для производства в целом.

Форма записи эксергетического баланса для стационарного процесса:

$$\sum E'' = \sum E' + \sum B,$$

где  $\sum E''$ - подведённая к системе эксергия;  $\sum E'$ - отведённая из системы эксергия;  $\sum B$ - потери эксергии в системе.

Термомеханическая эксергия одного вещества:

$$\Delta e = i_1 - i_0 - T_0(s_1 - s_0),$$

где  $i_0$  и  $s_0$  — энтальпия и энтропия;  $i_1$  и  $s_1$ - энтальпия и энтропия рабочего вещества в заданном рабочем состоянии;  $q_i$ и  $T_i$  — тепловой эффект и температура фазового перехода;  $c_p$ —средняя в заданном интервале температур изобарная теплоёмкость рабочего вещества; R —газовая постоянная.

Расчёт эксергии теплового потока:

$$e_q = Q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right),$$

где T — средняя температура теплового потока; $au_e = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$ - эксергетическая температурная функция.

Определение КПД по эксергетическому балансу:

$$\eta_e = \frac{\sum E''}{\sum E'} = \frac{\sum E' - \sum B}{\sum E'},$$

где  $\sum E''$ - отведённая из объекта эксергия;  $\sum E'$ - подведённая к объекту эксергия;  $\sum B$  — потери эксергии в объекте.[2]

Использование системного анализа, а также эксергетического метода позволит осуществить быстрый поиск оптимального типа системы рекуперации, позволит рассчитать наиболее значимые параметрыи уточнить критерии выбора системы.

- 1. Ю.Г. Назмеев, И.А. Конахина. Теплоэнергетические системы и энергобалансы промышленных предприятий. М.: МЭИ, 2002. 400 с.
- 2. Б.В. Сазанов, В.И. Ситас. Промышленные теплоэнергетические установки и систем ы. Учебное пособие. М.: МЭИ. 2014. 260 с.

#### Гниломёдов Е.В., Хрипунова А.С.

#### ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ОРГАНИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПАНИЙ

ООО «Научно-исследовательский институт трубопроводноготранспорта»

**Ключевые слова:** эффективность инновационной деятельности, топливноэнергетический комплекс, открытые инновации, венчурные фонды, управление инновационной деятельностью, зарубежный опыт, трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов, стартап, экономическая эффективность.

**Аннотация:** В современном мире для сохранения позиций на рынке и развития компании все большее значение приобретает ее инновационная деятельность. В статье рассматриваются вопросы поиска инструментов для выстраивания инновационных процессов внутри компании, а также повышения их эффективности.

На данном этапе современные компании во всем мире ведут свою деятельность в условиях перманентно меняющейся бизнес среды, которая отличается разнообразием участников и взаимосвязей между ними. При этом в отношении нефтегазовых компаний для сохранения достигнутых позиций на рынке и дальнейшего развития все большее значение приобретает процесс разработки и реализации инновационных проектов, направленных, главным образом, на обновление ресурсной базы, освоение территории в сложных природно-климатических условиях, снижение издержек и влияния на окружающую среду, а также цифровизацию основных технологических процессов. Реализация новых стратегий ставит перед компаниями энергетического сектора новые задачи и влечет за собой значительные финансовые расходы.

В этой связи, необходимо ответить, что инновации не ограничиваются исключительно разработкой новой техники и технологий, но и направлены на исследование передовых подходов к управлению различными процессами в компании. Для внедрения последних достижений в производственный цикл и своевременного отказа от применяемых устаревших технологий необходимо регулярно проводить мониторинг развития науки и техники, появления инновационных предложений, продуктов, разработок.

Выстраивание современной системы управления инновациями требует от руководства компаний и соответствующих подразделений концентрации внимания на исследовании практического опыта передовых российских и зарубежных компаний топливно-энергетического комплекса в области принятия решений в описываемой сфере, а также выявление перспективных управленческих практик. Для этого необходимо: определить передовые компании в России и за рубежом, продемонстрировавшие положительные результаты в исследуемой области; провести анализ их инновационной активности на основании статистических данных; оценить влияние элементов систем управления инновационной деятельностью в отобранных по указанному выше принципу компаниях, сопоставить их с собственными механизмами и на основе проделанной работы сформировать комплекс рекомендаций для развития систем управления инновационной деятельностью.

Результаты, полученные в ходе исследования, возможно использовать для принятия решения по корректировке механизмов управления инновационной деятельностью, в том числе, совершенствованию принципов и стратегий взаимодействия с научными организациями, высшими учебными заведениями, предприятиями-разработчиками инновационных продуктов и другими субъектами инновационной деятельности для планирования и реализации совместных исследований и разработок.

#### Список использованной литературы

1. Алексей Вашкевич: «Инвестиции в новые технологииуже стали для нас высокорентабельным бизнесом» [Электронный ресурс]// Официальный сайт компании «Газпром нефть». URL: <a href="https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2019-november/3914080/">https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2019-november/3914080/</a>

#### Грачев А.С., Баршутин С.Н.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЛАМЕНИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ.

**Аннотация:** в статье представлена модель процессов взаимодействия электрического поля с электронами в пламени и проведен анализ воздействия степени ионизации на частоту столкновений электронов с нейтральными молекулами пламени.

Ключевые слова: ионизация пламени, электрическое поле.

Эффективность использования первичных энергетических ресурсов на сегодняшний момент времени стоит особенно остро при проектировании устройств генерирующих тепловую и электрическую энергию.

Перспективным направлением в повышении эффективности сжигания топлива является воздействие электрического поля на процесс горения. В этом случае повышаются динамические характеристики окислительных процессов, а также появляется возможность управления ионизационными процессами в пламени.

В результате анализа физических процессов в пламени под действием электрического поля была выведена зависимость количества столкновений электронов с нейтральными молекулами:

$$n_{cm} = \frac{Eqt^{2}}{2\lambda_{cp}m} = \frac{Eqt^{2}}{2 \cdot m \left( \log_{\frac{\pi r^{2}}{\sqrt[3]{\frac{RT}{pN_{A}}}}} (1 - P_{0,5}) \right) \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{RT}{pN_{A}}} \right)},$$
(1)

где E — напряженность поля, t—время воздействия электрического поля на электрон, q — заряд электрона, m- масса электрона,  $\lambda_{\rm cp}$  - средняя длинна пробега электрона, T — температура,  $N_A$ — число Авогадро, R— универсальная газовая постоянная, p-давление, r — радиус сечения взаимодействия нейтральной молекулы, с электроном,  $P_{0,5}$  =0,5;

Характеристиками поля, влияющими на число столкновений, является напряжение поля и продолжительность действия, а также температура пламени. Остальные параметры формулы являются либо физические постоянные, либо параметры, не изменяющиеся во времени.

Выбор диапазона Кроме того, необходимо оценить максимальное число столкновений из следующих соображений. Максимальное количество ионизированных молекул может быть в количестве равной числу Авогадро. Тогда для нахождения предельного числа столкновений воспользуемся следующим соотношением:

$$2^n = N_{\scriptscriptstyle A}, \tag{2}$$

$$2^n = 6,022045 \cdot 10^{23} ,$$

$$n = \log_2 N_A. \tag{3}$$

Таким образом, количество столкновений n, которые будут необходимы для полной ионизации молекул в ионизированной среде равно 78.

Как видно из результатов расчетов, представленных на рисунке 1, в исследуемых диапазонах параметров концентрация электронов приобретает величину 6 моль<sup>-1</sup>.Для нашего случая нужно дойти до количества столкновений от 2 до 78 раз. Поэтому следующие графики будут исследованы зависимостью количества столкновений от различного временного диапазона.

Как мы видим (рисунок 2), в интервале от  $10^{-11}$  до  $10^{-10}$  с.количество столкновений увеличивается. При этом не учитываются процессы рекомбинации.

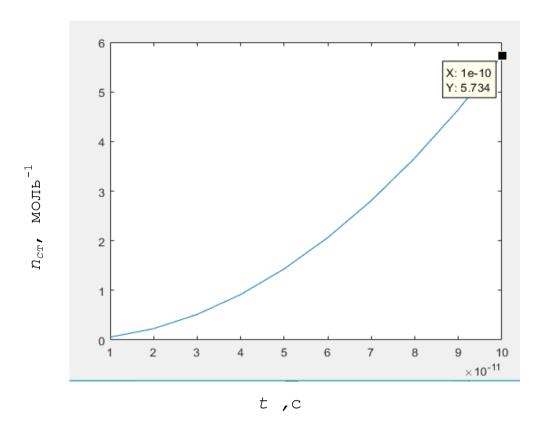


Рисунок 1 — График зависимости количества столкновений электрона от времени взаимодействия молекулы

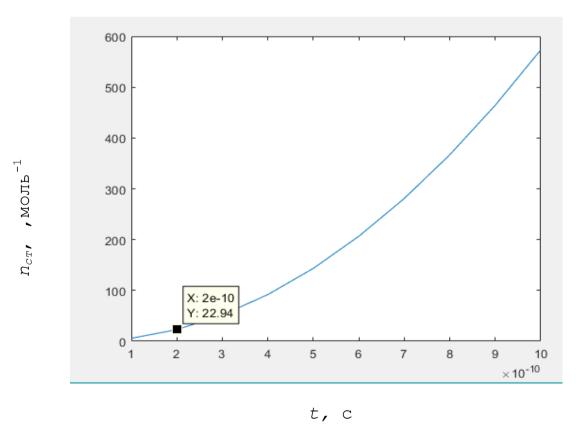


Рисунок 2 – График зависимости количества столкновений электрона от времени взаимодействия молекулы

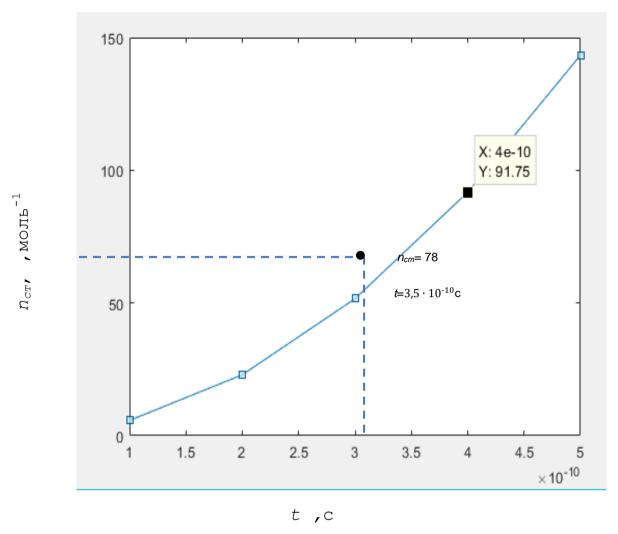


Рисунок 3 — График зависимости количества столкновений электрона от времени взаимодействия молекулы при напряженности электрического поля  $10^5\,\mathrm{B/m}$ 

Анализ графика изображенного на рисунке 3 показал, что при времени воздействия электрического поля  $3,5\cdot10^{-10}$ с. получаем необходимое количество столкновений. Дальнейшее исследование воздействие электрического поля необходимо проводить в этом временном диапазоне, но с учетом рекомбинационных процессов.

#### Список использованных источников

1. Степанов, Е. М. Ионизация пламени в электрическом поле/ Б. Г. Дьячков, И. Я. Полонский, М. А. Салимов, Н. А. Федоров; под ред. Н. А. Федорова. – М.: Металлургия, 1968. 208 - 311 с.

#### Грачев А.С., Баршутин С.Н.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г.Тамбов)

**Аннотация:** в статье проведен анализ перспектив использования ионизационных процессов в системах преобразования потенциальной энергии топлива в механическую работу и тепловую и электрическую энергию.

Ключевые слова: ионизация, пламя.

Применение ионизационных процессов для изучения этапов горения в энергетических системах начало широко использоваться в 50-х годов XX века. Но еще в 1814 году Бранд заметил, что если поместить пламя свечи между разными заряженными поверхностями, то отрицательно заряженная поверхность становится более нагретой и «...дым и пламя свечи явно притягиваются к ней». Использовать такое наложение электрических полей на пламя можно двояко. С одной стороны, электрическое поле можно использовать для увеличения интенсивности его горения, а с другой – для его уменьшения, вплоть до затухания поверхности. Эти обе стороны влияния равно интересны с научной точки зрения, все же больше исследований было проведено в области интенсификации горения электрическим полем, поскольку область применения такого явления довольно широка, например, создание экологически чистого двигателя внутреннего сгорания, в теплоэнергетических установках (котельных) и т.д.

В работе [1] изучалось воздействие электрического поля на параметры горения в модельной установке, имитирующую реальную камеру сгорания энергетического агрегата. Максимальный эффект воздействия электрического поля на горение в камере достигался в случае, когда электрод находился вблизи фронта пламени. Вывод о полном сжигании топлива косвенно подтверждался тем, как вел себя факел догорания на сопле камеры при положении электрического поля, что при росте напряженности поля в межэлектродном промежутке факел укорачивался и полностью исчезал — процесс горения заканчивался в камере. При повышении напряжения до близкого к пробойному в ряде

случаев факел срывался, причем попытки вновь поджечь топливовоздушную смесь при сохранении поля в камере оказывались безуспешными — происходила вспышка и пламя гасло. Эффект увеличения скорости горения в электрическом поле относится к случаю, когда электрод находился в области подготовки и имел положительную полярность в пламени.

Исследования Ивашина П.В., Шайкина А.П. и др. [2] в области изучения электропроводности пламени в условиях двигателя внутреннего сгорания (ДВС) показали, что проводимость между электродами резко возрастает в момент прохождения фронта пламени через электроды датчика проводимости. После прохождения фронта пламени проводимость также резко снижалась, при этом температура и давление существенного влияния не оказывали. Таким образом, изучение ионизационных процессов в пламени позволила определить динамику распространения фронта пламени в камере сгорания ДВС, что позволило повысить их эффективность путем активного воздействия на параметры распространения.

Таким образом, изучение ионизационных процессов в пламени позволит увеличить эффективность функционирование энергетических устройств, которые в своей работе используют сжигание различного вида топлива.

#### Список использованных источников

- Завилопуло, А.Н. Ионизация и диссоциативная ионизация молекул метана / А.Н. Завилопуло, М.И. Микита, А.Н. Мылымко, О.Б. Шпеник // Журнал технической физики. Т.83. вып.9. 2013. С.8 14.
- Ивашин П.В., Прокопович Т.А., Шайкин А.П., Строганов В.И. Электропроводность пламени и средняя скорость сгорания в заключительной фазе/Наука производству №4, 2004, с.5-7

#### Грибков А.Н.

# ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ МНОГОМЕРНЫМИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

**Аннотация:** Рассмотрены особенности функционального моделирования интеллектуальных информационно-управляющих систем многомерными теплотехнологическими объектами на множестве состояний функционирования.

**Ключевые слова:** функциональная модель, информационно-управляющие системы, энергосберегающее управление, теплотехнологические объекты

Процесс проектирования информационно-управляющих систем (ИУС) многомерными теплотехнологическими объектами включает в себя ряд сложных и наукоемких задач, таких как: структурная и параметрическая идентификация математических моделей теплотехнологического объекта; анализ задач энергосберегающего управления; синтез алгоритмов оптимального управления; разработка баз знаний и баз данных и т.д. Одним из начальных этапов проектирования ИУС является этап разработки ее функциональной модели, на основе которой можно провести оценку эффективности функционирования разрабатываемой системы с целью выявления и устранения возможных проблем, которые могут возникнуть в процессе ее последующей эксплуатации [1].

Эффективность функционирования ИУС во многом определяется ее свойствами (надежность, точность, быстродействие и т.д.), условиями работы, влиянием внешних возмущений и другими факторами, которые могут быть как детерминированными, так и случайными. Для комплексного учета перечисленных факторов, алгоритмическое и программное обеспечение ИУС часто строится на основе моделей на множестве состояний функционирования.

В качестве факторов, непосредственно влияющих на изменение состояния функционирования в ИУС теплотехнологическими объектами, могут учитываться: изменения

температуры окружающей среды, атмосферного давления, влажности, параметров теплотехнологического процесса и другие факторы, которые могут повлиять на эффективность функционирования системы и достижение цели управления.

Функциональная модель в стандарте IDEF/0 представляет собой совокупность иерархически связанных диаграмм, которые описывают систему с точки зрения протекающих в ней процессов или выполняемых ею функций. Диаграммы разного уровня позволяют описать функциональность системы с требуемой степенью детализации. Для детального представления ИУС на множестве состояний функционирования, необходимо при построении функциональной модели включить в ее состав диаграммы, описывающие отдельные этапы работы системы или ее подсистем (модулей) применительно к различным состояниям функционирования. Особенно важными являются диаграммы декомпозиции, описывающие функционирование системы или ее компонентов в наиболее вероятных и критических состояниях функционирования.

Применение подхода, основанного на совместном использовании функционального моделирования и теории систем на множестве состояний функционирования, позволяет получить подробную формализованную модель проектируемой ИУС, на основе которой в дальнейшем можно создать информационную модель системы и произвести имитационное моделирование работы ИУС [2].

Материал подготовлен при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований, проект №18-08-00555-а.

- 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. 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.

Гурьянов А.И., Евдокимов О.А., Веретенников С.В.

# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В ПРОТИВОТОЧНОМ ГОРЕЛОЧНОМ МОДУЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНИЗОТРОПНЫХ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

ФГБОУ ВО Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, Россия

Аннотация: Приведены результаты численного моделирования течения вязкого сжимаемого газа в противоточном горелочном модуле с учетом характерных особенностей течения в ограниченных диафрагмированных закрученных потоках. Расчёты выполнены с использованием моделей турбулентности: SST, k-e, RNG k-e, EARSM, RSM BSL. Показано, что в случае применения модели переноса рейнольдсовых напряжений RSM BSL(Reynolds Stress Model BaseLine) структура течения имеет особенности, не проявляющиеся при использовании стандартных двухпараметрических моделей турбулентности, но наблюдаемые в эксперименте.

**Ключевые слова:** Закрученное течение, вихревая горелка, анизотропная модель турбулентности.

Общие подходы к проектированию противоточных горелочных модулей, разработанные на основе балансных соотношений переноса энергии, вещества, импульса позволяют определить лишь интегральные параметры течения. Для определения внутренней структуры закрученного течения, полей термогазодинамических параметров и локальных характеристик возникает необходимость численного моделирования. При этом результаты расчётов с использованием осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса (RANS) чувствительны к выбору замыкающей полуэмпирической модели турбулентности, поэтому актуальной задачей является исследование влияния различных моделей турбулентности на характеристики вихревого противоточного горелочного модуля.

Результаты расчётов показали, что интегральные характеристики горелочного модуля слабо зависят от выбранной модели турбулентности — наибольшее отклонение массового расхода от средней величины отмечено для модели EARSM (+12%) и k-е (-7%). Для остальных моделей турбулентности это отклонение не превышает 4.5%.

Анализ структуры течения показал: для моделей SST, k-e, RNG k-e, EARSM картина течения практически совпадает — закрученный периферийный поток отрывается от стенок в расширяющейся части вихревой камеры. При этом образуется система из двух тороидальных вихрей, один из которых является замкнутым, а во втором закрученный периферийный поток разворачивается на 180° с формированием приосевого вынужденного течения.

Картина течения, полученная с помощью модели RSM BSL, отличается от других рассмотренных вариантов — при движении периферийного потока в объёме горелочного модуля, в цилиндрической части образуется винтообразный тороидальный вихрь, наблюдаемый в эксперименте, но который не показали другие модели. Как и для других моделей, поток отрывается от стенок в расширяющейся части вихревой трубы, но структура течения в камере смешения различается — в центральной части камеры смешения образуются система радиально распределённых тороидальных вихрей. Это приводит к увеличению радиальной компоненты скорости при развороте потока на 180° и повышению угловой скорости вращения приосевого вихря. Более высокая закрутка потока вызывает эжекцию воздуха из атмосферы, что не было отмечено для других моделей, но наблюдалось при экспериментах.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение фундаментальных научных исследований на 2020 год и плановый период 2021 и 2022 годов (шифр научной темы 0774-2020-0004).

#### Евдокимов О.А., Гурьянов А.И.

#### ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В ВИХРЕВОМ ПРОТИВОТОЧНОМ ГОРЕЛОЧНОМ МОДУЛЕ

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева

Закрутка потока является эффективным способом интенсификации теплофизических процессов и применяется во многих энергетических приложениях: вихревые трубы и горелки, циклоны, теплообменники, эжекторы и т.д. [1, 2]. Применительно к процессам горения, закрутка потока позволяет повысить качество смесеобразования, полноту сгорания топлива, удельную тепловую мощность, а также сократить выбросы загрязняющих атмосферу веществ и снизить массогабаритные показатели [3].

Согласно классификации Н. Сайреда и Я. Бира [3], можно выделить два основных типа вихревых горелочных устройств — прямоточные и противоточные. В первых реагирующий поток истекает в атмосферу или топочное пространство, причем горение реализуется как внутри устройства, так и на выходе из него в виде закрученного факела, протяженность которого зависит от рабочего режима. В противоточных вихревых горелках возникает двунаправленное коаксиальное движение потока воздуха: первоначально воздух подается через закручивающее устройство и движется по внешнему радиусу в сторону торцевой стенки, где происходит его разворот, смешение с топливом и последующее движение по меньшему радиусу к выходному соплу. Отмеченные газодинамические особенности противоточных вихревых горелок дают возможность создания эффективных сверхзвуковых горелочных устройств за счет перехода через критическую скорость в выходном сопле. При этом обеспечивается эффективное конвективное охлаждение стенок горелки, что позволяет использовать более дешевые и менее термостойкие материалы.

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования противоточного вихревого сверхзвукового горелочного модуля малой тяги. Геометрия горелки основана на опыте исследований противоточных вихревых камер сгорания различного

назначения [4, 5]. Кроме того, для обеспечения перехода через скорость звука на выходе из камеры сгорания используется профиль сопла Витошинского. Для расчета структуры потока применялся подход RANS, для моделирования турбулентности использовались 3 различные модели – k-ε, k-ω SST и RSM BSL. Горение моделировалось с помощью EDM модели с 2-ступенчатой реакцией окисления и реакцией термического образования NO. Численное моделирование процесса горения позволило получить значения полноты сгорания и тяги на выходе из камеры сгорания, равные 96% и 61,8 Н соответственно. Эти значения свидетельствуют о более высокой эффективности работы по сравнению с аналогами. Значение усредненного по расходу числа Маха на выходе из камеры сгорания равно 2,24. Максимальная неравномерность распределения числа Маха по выходному сечению составляет 29,0% (рис. 1). Дополнительное геометрическое усовершенствование было основано и на изменении внутреннего диаметра выходного сопла. Его относительное значение, полученное в результате деления на внутренний диаметр камеры сгорания, было изменено с 0,5 до 0,7. Полученные результаты показывают, что значение 0,5 является оптимальным с точки зрения повышения эффективности сгорания и тяги, а также обеспечения усиления вихревого движения.

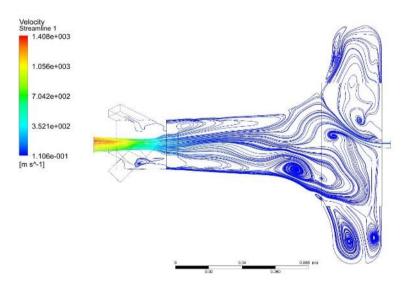


Рисунок 1 – Линии тока в продольном сечении горелочного модуля

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение фундаментальных научных исследований на 2020 год и плановый период 2021 и 2022 годов (шифр научной темы 0774-2020-0004).

- 1. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки // М.: Мир, 1987, 588 с.
- 2. Бирюк В.В., Веретенников С.В., Гурьянов А.И., Пиралишвили Ш.А. Вихревой эффект. Технические приложения. Ч.2. // М.: Научтехлитиздат, 2014, 288 с.
- 3. Syred N., Beér J.M. Combustion in swirling flows: A review // Combustion and Flame. 1974. V. 23. P. 142-201.
- 4. Evdokimov O.A., Guryanov A.I., Mikhailov A.S., Veretennikov S.V., Stepanov E.G. Experimental investigation of burning of pulverized peat in a bidirectional vortex combustor // Thermal Science and Engineering Progress, 2020. Vol. 18. P. 100565.
- 5. Guryanov A.I., Evdokimov O.A., Guryanova M.M., Veretennikov S.V. Criterion analysis and experimental study of combustion mechanisms in a bidirectional swirling flow and their relationship with pollutants emission // International Journal of Energy Research, 2020. Early View.

#### Ерёмин В.В., Истомина Т.А.

#### ПОЛУЧЕНИЕ «ЗЕЛЁНОГО» ВОДОРОДА

Тамбовский государственный технический университет

Водород называется «зелёным», так как производится из биоугля. Биоуголь может быть произведен из любого органического продукта (отходы деревообработки, сельско-хозяйственные отходы, иловые осадки, торф). Получают данный продукт методом пиролиза, который представляет собой нагрев органического материала без доступа кислорода. При данном процессе образуются твердое вещество — биоуголь, небольшое количество биомасла и газы. На установках быстрого пиролиза выход биоугля составляет от 2 — 40 % в зависимости от сырья и параметров.

Обратим внимание на схему получения «зелёного водорода» из биомассы, предлагаемую по технологии «blueFLUX»[1].

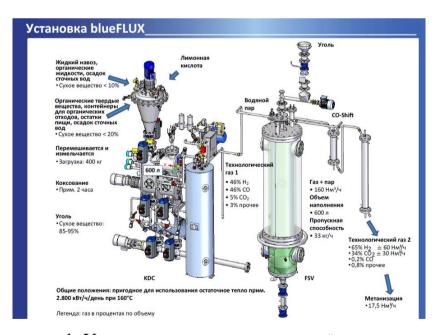


Рисунок – 1. Установка для получения «зелёного» водорода

Работает установка следующим образом. Собранные биоотходы, сточный ил или продукты деревообработки перемешиваются и измельчаются. После чего проходят процесс коксования, который занимает приблизительно 2 часа. Далее необходимо перевести

уголь, полученный в процессе коксования, в газообразное состояние. Этот процесс называется газификацией угля, в ходе которого, к топливу подводится некоторое количество тепла и газифицирующих агентов. В данной установке агентом выступает водяной пар. Требуемое тепло подводится к процессу за счёт физического тепла золы, которая является остаточным продуктом газификации. После процесса газификации, газ преобразуется и очищается. Процент содержание водорода в конечном газе составляет 65%.

По экспертным оценкам водород является весьма перспективным экологически чистым топливом, практически единственным, продуктом сжигания которого является вода. Помимо высокой теплоты сгорания (122 кДж/г), ещё одним важным преимуществом его использования в качестве энергоносителя является исключение выделения парниковых газов и других загрязнений в окружающую среду и снижение выброса углекислого газа в атмосферу.

#### Список использованной литературы

1. Официальный сайт blueFLUXEnergy[Электронный ресурс] — Режим доступа: https://www.bluefluxenergy.com/en/ — Загл. с экрана (Дата обращения 23.10.2020).

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

Клюев А.Ю., Гурьянов А.И., Евдокимов О.А.

#### ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ И ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ НА МИКРОМАСШТБАНОМ УРОВНЕ

#### ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева

**Аннотация:** В исследовании проведен анализ численного моделирования ламинарного диффузионного пламени. Рассмотрено влияние масштабного фактора на термический параметр процесса горения и структуру течения.

**Ключевые слова:** Источник энергии, ламинарное диффузионное пламя, затопленная струя.

Высокоэффективные компактные электронные устройства для различных областей техники, часто требуют больших затрат энергии. Наиболее распространенные среди существующих источников энергии литий-ионные аккумуляторы имеют энергетическую плотность не более 200 Втч/кг [1,2,3] и не могут обеспечить длительное функционирование технического устройства без стационарного источника питания. Повышение производительности технических устройств формирует спрос на источники энергии, обладающие более высокой плотностью энергии. Возможным вариантом является применение компактных источников энергии на основе преобразования химической эксергии углеводородного топлива в микрокамере сгорания в электроэнергию. Преимуществом углеводородных источников энергии является энергетическая плотность, которая в 40-75 раз выше, чем у литий-ионной батареи [4].

В работе проведен анализ влияния масштабного фактора на структуру течения и процесс горения. В качестве расчетной модели используется диффузионная затопленная струя. Для анализа влияния масштабного фактора выбраны модели с диаметром поперечного сечения топливного канала:  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ , м и воздушного канала  $6\cdot10^{-2}$ ,  $6\cdot10^{-3}$ ,  $6\cdot10^{-4}$  м соответственно. Топливо и окислитель, истекающие в атмосферу, взяты в стехиометрическом соотношении. Режим течения диффузионной затопленной струи — ламинарный. Модель турбулентности — k- $\epsilon$ . В результате численного моделирования по-

строены графики профилей полной температуры и относительной скорости. Максимальные значения температуры получены во фронте пламени, в области стехиометрического соотношения компонентов топливно-воздушной смеси. Относительная скорость максимальна на центральной оси и независимо от масштаба принимает значение 1,1 на расстоянии 1 калибра, а на расстоянии 20 калибров уменьшается до 0,9.

Результаты показали эквивалентность профилей полной температуры и относительной скорости течения на исследованных пространственных масштабах.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение фундаментальных научных исследований на 2020 год и плановый период 2021 и 2022 годов (шифр научной темы 0774-2020-0004).

- 1. **Fernandez-Pello, A.C.** Micropower generation using combustion: issues and approaches [Text] / A.C. Fernandez-Pello // Proceedings of the Combustion Institute 2002;29:883-899 p.
- 2. **Kang, K.** Electrodes with high power and high capacity for rechargeable lithium batteries [Text] / K. Kang, YS. Meng, J. Breger, CP. Grey, G. Ceder // Science 2006;311(5763): 977-980 p.
- 3. **Ju, Y.** Micro-combustion: technology development and fundamental research [Text] / Y. Ju, K. Maruta // Prog Energy Combust Sci 2011.37(6):669–715 p.
- 4. **Chou, S.K.** Development of micro power generators A review [Text] / S.K. Chou, W.M. Yang, K.J. Chua, J. Li, K.L. Zhang // National University of Singapore 2010. 16 c.

#### Колесникова Е.С.

## ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Тамбовский государственный технический университет

Эффективное применение сетей Петри в моделировании тех или иных процессов обуславливается тем, что по сути сеть Петри представляет из себя интеграцию графов и дискретной динамической системы. С помощью этих свойств сеть Петри служит и статической и динамической моделью исследуемого объекта. При этом отсутствие строго фиксированного аналитического порядка при определении входных и выходных параметров, делает эту систему алгоритмически неопределенной в том же смысле, что и для имитационных моделей[1].

При разработке технологических схем работы котельной, каждому трубопроводу, в соответствии с параметрами теплоносителя, соответствует определенный цвет согласно ГОСТ 14202-69 «Трубопроводы промышленных предприятий». Это позволяет моделировать процесс работы котельной с использованием цветных динамических сетей Петри, полное определение которых имеет следующий вид:

$$C = \langle P, T, I, O, M, L, \tau 1, \tau 2 \rangle,$$
 (1)

где  $P = \{p_1,...p_n\}$  — множество позиций;  $T = \{t_1^{\ i1},\ t_2^{\ i2}...t_m^{\ il}\}$  — множество приоритетных переходов;  $I=(I^{(1)},\ I_c^{\ (1)})$  — входная функция;  $O=(O^{(1)},\ O_c^{\ (1)})$  —выходная функция;

M: 
$$P \rightarrow \{(m_1, m_2, ..., m_k) | m_i \in \{0, 1, 2, ...\}, i = 1, k\} \cup \{M(p) | p \in P\},$$
 (2)

где  $L = \{c_1, c_2, ... c_k\}$  — множество цветов функционирующих в сети меток — самомодифицирующая функция маркировки сетей Петри с цветными метками.

Двоичный вектор цвета  $c_j$  содержит в себе характеристики конкретного параметра теплоносителя (метки), в данном случае такими параметрами являются температура, давление, скорость потока и энтальпия.

Функционирование динамической сети осуществляется следующим образом. Переход t является разрешенным и может сработать по цвету  $c_i$ , если во всех входных позициях перехода t количество меток цвета  $c_i$  не меньше, чем кратность входных дуг  $I^{(1)}(t)$ ,

соответствующих данному цвету  $c_i$ . При срабатывании перехода t маркировка M изменяется по следующим правилам. Из входных позиций удаляются метки цвета  $c_i$ , количество их определяется кратностью дуги  $I_c^{(1)}(t)$ .В выходные позиции помещаются метки определяемом кратностью выходных дуг  $O^{(1)}(t)$ :

$$M_i'(p) = M_i(p) - I_{c(1)}(t,p); M_i'(p) = M_i(p) + O_{(1)}(t,p).$$
 (3)

Иначе говоря, через раскрашенную дугу перемещаются лишь те метки, цвет которых соответствует раскраске дуги.

Применение моделирования технологических процессов и систем позволяет прогнозировать изменение параметров, их характеристик, определять факторы, повлиявшие на данные изменения и осуществлять корректировки в работе системы. В итоге обеспечивается эффективное функционирование системы, а также скорректированная работа всех составляющих, выражающиеся в современном принятии решений для обеспечения безопасной работы сложных технологических комплексов, реализующих рассматриваемый технологический процесс. [2].

#### Список использованной литературы

- 1. Басыров И.Р. Расширение сетей Петри, проблемно ориентированное на моделирование многоассортиментных производственных систем//Ученые записки КФЭИ, выпуск 16.— Казань, 2001. С.177-182.
- Поспелов Г.С. Искусственный интеллект основа новой информационной технологии. М.: Наука, 1988. – 280с.

Мешкова Э.А., Баршутин С.Н.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ МОДЕЛИ ТРАЕКТОРИИ ЭЛЕКТРОНА В ПОЛЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ИОНА

ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г.Тамбов)

**Аннотация:** в статье рассматривается алгоритм численного решения физикоматематическая модели взаимодействия электронов с положительными ионами в пламени.

Ключевые слова: рекомбинация, ионы, электроны, пламя.

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений, которые описывают движение электрона в поле действия Кулоновских сил:

$$\begin{cases} dx = v_{0x} \cdot dt + \frac{3B \cdot dt^{2} \cdot \left(x_{n} - \frac{t \cdot dx}{dt}\right)}{\left(\sqrt{x_{n}^{2} + y_{n}^{2}} - \frac{t \cdot \sqrt{dx^{2} + dy^{2}}}{2 \cdot dt}\right)^{3}} \\ dy = v_{0y} \cdot dt + \frac{3B \cdot dt^{2} \cdot \left(x_{n} - \frac{t \cdot dx}{dt}\right)}{\left(\sqrt{x_{n}^{2} + y_{n}^{2}} - \frac{t \cdot \sqrt{dx^{2} + dy^{2}}}{2 \cdot dt}\right)^{3}} \end{cases}$$

$$(1)$$

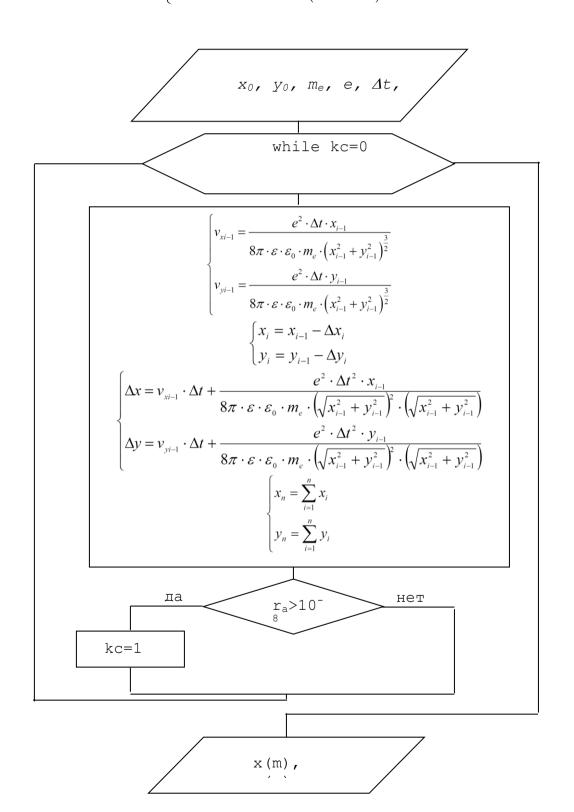
где 
$$B = \frac{e^2}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e}$$
, тогда

Эта система дифференциальных уравнений задана в неявном виде. Анализ данной системы позволил определить порядок дифференциальных уравнений. Аналитическое решение полученного уравнения на данный момент не представляется возможным. Но данную задачу возможно решить с помощью численных методов.

Разработаем методику и алгоритм численного решения поставленной задачи:

$$\begin{cases}
\Delta x = v_{xi-1} \cdot \Delta t + \frac{e^2 \cdot \Delta t^2 \cdot x_{i-1}}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(\sqrt{x_{i-1}^2 + y_{i-1}^2}\right)^2 \cdot \left(\sqrt{x_{i-1}^2 + y_{i-1}^2}\right)} \\
\Delta y = v_{yi-1} \cdot \Delta t + \frac{e^2 \cdot \Delta t^2 \cdot y_{i-1}}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(\sqrt{x_{i-1}^2 + y_{i-1}^2}\right)^2 \cdot \left(\sqrt{x_{i-1}^2 + y_{i-1}^2}\right)}
\end{cases} (2)$$

$$\begin{cases} v_{xi-1} = \frac{e^2 \cdot \Delta t \cdot x_{i-1}}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(x_{i-1}^2 + y_{i-1}^2\right)^{\frac{3}{2}}} \\ v_{yi-1} = \frac{e^2 \cdot \Delta t \cdot y_{i-1}}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(x_{i-1}^2 + y_{i-1}^2\right)^{\frac{3}{2}}} \end{cases}$$
(3)



#### Список использованных источников

- 1. Баршутин С.Н. Исследование скважности генератора прямоугольных импульсов/ Баршутин С.Н., А.П. Илясов, Э.А. Мешкова. // Четвертая всероссийская молодежная научная конференция, посвященная дню радио Тамбовский государственный технический университет.- 2019.-с. 7-9.
- 2. Баршутин, С.Н. Воздействие термоэлектронной эмиссии углеродных частиц на степень ионизации пламени/ Баршутин С.Н., Мешкова Э.А.// Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2019. Т. 25. № 1. с. 155-160.

#### Мешкова Э.А., Баршутин С.Н.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЛАМЕНИ

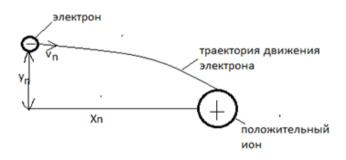
ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г.Тамбов)

**Аннотация:** в статье показана процедура разработки физико-математическая модели взаимодействия электронов с положительными ионами в пламени

Ключевые слова: рекомбинация, ионы, электроны, пламя.

Ионизационные процессы в пламени неразрывно связаны с обратными процессами, рекомбинации электронов на положительных ионах. На данный момент известно ряд механизмов, по которым идет рекомбинация в пламени, основным из которых является тройная элекрон-ионная рекомбинация  $-A^+ + 2e \rightarrow A + e$ .

Рассмотрим схему движения электрона в поле действия сил Кулона между ионом и электроном



 $x_n$  — начальное расстояние от электрона до иона,

 $y_n$  — начальный сдвиг электрона от оси X

Рисунок 1 — Схема движения электрона в направлении иона

Движение электрона будем рассматривать с классической точки зрения.

Известно, что при движение тела в поле действия сил описывается следующим законом:

$$\vec{F} = \vec{a} \cdot m_e \,, \tag{1}$$

где  $\vec{a}$  – вектор ускорения,  $m_e$  – масса электрона,  $\vec{F}$  – вектор силы.

С другой стороны между двумя заряженными частицами возникает сила Кулона:

$$\vec{F} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2} \tag{2}$$

где  $q_1$  - заряд электрона,  $q_1$  - заряд иона,  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость между электроном,  $\epsilon_0$  - диэлектрическая постоянная, r - расстояние между электроном и ионом.

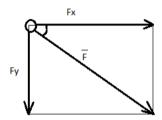


Рисунок 2 - Схема векторов сил, действующих на электрон в Кулоновском поле

$$F_{x} = \overrightarrow{F} \cdot \cos \alpha \tag{3}$$

$$F_{y} = F \cdot \sin \alpha \tag{4}$$

$$\cos \alpha = \frac{\alpha}{r} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \tag{5}$$

$$\sin \alpha = \frac{y}{r} = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \tag{6}$$

Далее рассмотрим изменение положение электрона при ускоренном движение:

$$\Delta r = v_0 \cdot \Delta t + \frac{\vec{a} \cdot \Delta t^2}{2} \tag{7}$$

где  $\Delta r$  перемещение электрона за время  $\Delta t$ ,  ${\bf v}_0$  - начальная скорость электрона,  $\bar a$  - вектор ускорения.

При этом:

$$\Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \tag{8}$$

Рассмотрим проекции передвижения по оси Х и Ү.

Объединим уравнения (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8).

Тогда получим следующую систему:

$$\begin{cases}
\Delta x = v_{0x} \cdot \Delta t + \frac{q_1 \cdot q_2 \cdot \Delta t^2 \cdot \cos \alpha}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(\sqrt{x_0^2 + y_0^2}\right)^2} \\
\Delta y = v_{0y} \cdot \Delta t + \frac{q_1 \cdot q_2 \cdot \Delta t^2 \cdot \sin \alpha}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(\sqrt{x_0^2 + y_0^2}\right)^2}
\end{cases} \tag{9}$$

Учитывая, что значения  $x_0$  и  $y_0$  каждого  $\Delta x$  будут разные и будут зависеть от того, на сколько изменятся  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . При этом изменению подвергнется и  $v_0$  на последующем шаге. Тогда окончательно система приобретает следующий вид:

$$\begin{cases}
\Delta x = \begin{pmatrix} v_{0x} \cdot \Delta t + \frac{q_1 \cdot q_2 \cdot \Delta t^2 \cdot \left(x_n - \frac{t \cdot \Delta x}{\Delta t}\right)}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(\sqrt{x_n^2 + y_n^2} - \frac{t \cdot \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{2 \cdot \Delta t}\right)^3} + \frac{q_1 \cdot q_2 \cdot \Delta t^2 \cdot \left(x_n - \frac{t \cdot \Delta x}{\Delta t}\right)}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(\sqrt{x_n^2 + y_n^2} - \frac{t \cdot \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{2 \cdot \Delta t}\right)^3} \\
\Delta y = \begin{pmatrix} q_1 \cdot q_2 \cdot \Delta t \cdot \left(y_n - \frac{t \cdot \Delta y}{\Delta t}\right) \\ v_{0y} \cdot \Delta t + \frac{q_1 \cdot q_2 \cdot \Delta t^2 \cdot \left(y_n - \frac{t \cdot \Delta y}{\Delta t}\right)}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(\sqrt{x_n^2 + y_n^2} - \frac{t \cdot \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{2 \cdot \Delta t}\right)^3} \\
+ \frac{q_1 \cdot q_2 \cdot \Delta t^2 \cdot \left(y_n - \frac{t \cdot \Delta y}{\Delta t}\right)}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(\sqrt{x_n^2 + y_n^2} - \frac{t \cdot \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{2 \cdot \Delta t}\right)^3} \\
+ \frac{q_1 \cdot q_2 \cdot \Delta t^2 \cdot \left(y_n - \frac{t \cdot \Delta y}{\Delta t}\right)}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(\sqrt{x_n^2 + y_n^2} - \frac{t \cdot \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{2 \cdot \Delta t}\right)^3}
\end{cases}$$

Перейдем к дифференциальной форме и так как  $q_1 = q_2 = e$ , то

$$dx = \begin{bmatrix} v_{0x} \cdot dt + \frac{3e \cdot dt^2 \cdot \left(x_n - \frac{t \cdot dx}{dt}\right)}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(\sqrt{x_n^2 + y_n^2} - \frac{t \cdot \sqrt{dx^2 + dy^2}}{2 \cdot dt}\right)^3} \end{bmatrix}$$

$$dy = \begin{bmatrix} v_{0y} \cdot dt + \frac{3e \cdot dt^2 \cdot \left(y_n - \frac{t \cdot dy}{dt}\right)}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e \cdot \left(\sqrt{x_n^2 + y_n^2} - \frac{t \cdot \sqrt{dx^2 + dy^2}}{2 \cdot dt}\right)^3} \end{bmatrix}$$

$$(11)$$

Обозначим  $B = \frac{e^2}{8\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot m_e}$ , тогда

$$\begin{cases} dx = v_{0x} \cdot dt + \frac{3B \cdot dt^{2} \cdot \left(x_{n} - \frac{t \cdot dx}{dt}\right)}{\left(\sqrt{x_{n}^{2} + y_{n}^{2}} - \frac{t \cdot \sqrt{dx^{2} + dy^{2}}}{2 \cdot dt}\right)^{3}} \\ dy = v_{0y} \cdot dt + \frac{3B \cdot dt^{2} \cdot \left(x_{n} - \frac{t \cdot dx}{dt}\right)}{\left(\sqrt{x_{n}^{2} + y_{n}^{2}} - \frac{t \cdot \sqrt{dx^{2} + dy^{2}}}{2 \cdot dt}\right)^{3}} \end{cases}$$
(12)

Полученная система дифференциальных уравнений задана в неявном виде. Анализ данной системы позволил определить порядок дифференциальных уравнений, который для нашего случая это порядок не менее 5 степени. Аналитическое решение полученного уравнения на данный момент не представляется возможным. Но данную задачу возможно решить с помощью численных методов.

#### Список использованных источников

- 1. Баршутин С.Н. Исследование скважности генератора прямоугольных импульсов/ Баршутин С.Н., А.П. Илясов, Э.А. Мешкова. // Четвертая всероссийская молодежная научная конференция, посвященная дню радио- Тамбовский государственный технический университет.- 2019.-с. 7-9.
- 2. Баршутин, С.Н. Воздействие термоэлектронной эмиссии углеродных частиц на степень ионизации пламени/ Баршутин С.Н., Мешкова Э.А.// Вестник Тамбовского государственного технического университета.- 2019.- Т. 25.- № 1.- с. 155-160.

Носкова К. Р., Гурьянов А. И., Гурьянова М. М.

# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВХОДНОЙ НЕСИММЕТРИЧНОСТИ ЭПЮРЫ СКОРОСТИ НА ГАЗОДИНАМИКУ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД С УЧЕТОМ ЗАКРУЧЕННОГО ТЕЧЕНИЯ В ЖАРОВОЙ ТРУБЕ

#### РГАТУ имени П. А. Соловьева

**Аннотация:** Выполнено исследование по влиянию несимметричности профиля скорости за компрессором на структуру течения и величину гидравлических потерь в камере сгорания ГТД, смоделированную с учетом внутреннего закрученного течения в жаровой трубе. Показано, что сохранение величины коэффициента несимметричности входной скорости диапазоне значения K, близким к 1, позволяет обеспечить максимально полную величину давления на выходе и соответственно минимум гидравлических потерь.

**Ключевые слова:** Камера сгорания, несимметричность профиля скорости, газодинамика, коэффициент гидравлических потерь.

На входе в диффузор камеры сгорания (КС) под влиянием нестационарного взаимодействия последней ступени компрессора и направляющего аппарата, а также остаточной закрутки потока может сформироваться несимметричная эпюра скорости. Выявлено, что существует взаимосвязь между неравномерностью распределения рабочего тела на входе в КС с гидравлическим сопротивлением, а именно — при возникновении несимметричности течения увеличивается величина гидравлических потерь, что требует ее учета при проектировании двигателя [1].

Исследование является продолжением работ [1, 2], в которых ранее не учитывались внутреннее течение в жаровой трубе с закруткой на выходе из фронтового устройства и нестационарность течения в численных расчетах.

Для организации неравномерности течения воздуха в проточной части спроектированы генераторы с коэффициентами на выходе из которых 1 < K < 1, эпюры скорости которых задавались в виде начальных условий на входе в камеру, где K — коэффициент несимметричности профиля скорости, определяющийся зависимостью (1).

$$K = \frac{W_1}{W_2},\tag{1}$$

 $W_1, W_2$  — среднерасходная скорость потока в верхнем и нижнем полуканалах соответственно.

Газодинамика течения в проточной исследована на секторной модели  $15^0$  КС с заданием периодичности в нестационарной постановке с использованием k- $\epsilon$  модели тур-булентности.

Результаты расчетов показали, что при искажении эпюры в область K>1 и K<1 ухудшается газодинамическая эффективность камеры сгорания и всех основных ее элементов. Наименьший коэффициент гидравлических потерь имеет место быть при симметричной картине течения, то есть при входном профиле скорости с K=1. При K>1 и K<1 потери полного давления увеличиваются в кольцевых каналах, фронтовом устройстве от суммарных потерь в КС по сравнению со случаем при K=1. Поэтому при проектировании КС важным моментом является сохранение величины несимметричности в диапазоне значения K, близким к 1, что позволяет обеспечить максимально полную величину давления на выходе КС и соответственно минимум гидравлических потерь.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение фундаментальных научных исследований на 2020 год и плановый период 2021 и 2022 годов (шифр научной темы 0774-2020-0004).

#### Список использованных источников

- Gur'yanova, M. M. Joint effect of input asymmetrical velocity profile and initial turbulence intensity on hydraulics of a separated diffuser of GTE combustion chamber / M. M. Gur'yanova, Sh. A. Piralishvili // Russian Aeronautics (Iz.VUZ). 2016. Vol. 59. №2. Pp. 197–205.
- Гурьянова, М.М. Влияние входной несимметричности профиля скорости и начальной интенсивности турбулентности на гидравлику отрывного диффузора камеры сгорания ГТД / М. М. Гурьянова, Пиралишвили Ш. А // Авиационная техника. 2016. №2. С.38-45.

#### Чубаров Р.Ю., Попов О.Н.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОГЕНЕРАЦИИ В РОССИИ

Тамбовский государственный технический университет

Современный уровень энергоемкости производства продукции в нашей стране выше среднемировых в 2 раза. Низкая энергетическая эффективность порождает низкую конкурентоспособность российской промышленности. Усиление глобальной конкуренции требует кардинального роста эффективности использования ресурсов, несмотря на такие ограничивающие факторы, как сравнительно низкие цены на энергоносители, высокая стоимость заемных средств, уникальная протяженность и суровые климатические условия страны.

Основным направлением в повышении энергетической эффективности является развитие технологического энергосбережения, в рамках которого должна быть решена задача вывода из эксплуатации экономически неэффективного, физически и морально устаревшего энергетического оборудования с введением необходимого объема новых мощностей преимущественно на базе использования отечественных технологий и оборудования, и с сохранением приоритета выработки электрической и тепловой энергии в комбинированном режиме.

Для целей реконструкции действующих и сооружения новых источников производства электрической и тепловой энергии на базе органических топлив Энергетической стратегией Российской Федерации определен перечень технологического оборудования, востребованного организациями топливно-энергетического комплекса Российской Федерации, создание или локализация производства которого необходимы на территории Российской Федерации [1]:

 оборудование и технологии на сверхкритических и суперсверхкритических параметрах пара с улучшенными технико-экономическими и экологическими характеристиками;

- оборудование и технологии по увеличению коэффициента полезного действия турбин за счет изменений параметров и применения новых рабочих тел, в том числе углекислого газа;
- оборудование и технологии энергетических газовых турбин с установленной мощностью 65 МВт и более, комплектующие к ним.

Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения с учетом приоритета повышения уровня когенерации возможно за счет реконструкции котельных в мини-ТЭЦ. Для достижения данной задачи потребуется разработать:

- высокоэффективные энергетические ГТУ малой мощности (6 9 MBт) с высокими показателями надежности для реконструкции крупных котельных (тепловой мощностью 20 Гкал/ч и более);
- отечественные газопоршневые установки на 0.3-5 МВт для использования при реконструкции котельных тепловой мощностью 3-20 Гкал/ч, эффективно работающих в широком диапазоне калорийности газа, широком диапазоне нагрузок, конкурентоспособных с лучшими мировыми аналогами;
- отечественные микротурбины (газовые, паровые) на  $50-1000~{\rm kBt}$  и топливные элементы  $100-200~{\rm kBt}$  для реконструкции котельных малой мощности  $3~{\rm \Gamma kan/ч}$  и менее.

Развитие когенерации позволит снизить себестоимость выпускаемой продукции, повысить энергетическую безопасность, уменьшить вводы новых генерирующих мощностей на крупных ТЭС, сократить объемы электросетевого строительства, снизить потери в электрических сетях.

#### Список использованной литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. Минэнерго России.

# СЕКЦИЯ 3. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

#### Павлов И.В., ЗацепинаВ.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, AveragePowerFactorRegulation.

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 соз ф был не меньше заданного. Такой способ регулирования имеет существенные недостатки — низкую точность поддержания заданного среднего соз ф и вероятность перекомпенсации.

Компания BMR разработала новый алгоритм регулирования APFR (AveragePowerFactorRegulation). Регулятор компании BMR, изображённый на рисунке 2, способен отслеживать вместо мгновенного среднее значение соз ф за интервал времени. Помимо подключения определенного количества конденсаторных ступеней, регулятор

еще управляет длительностью их подключения таким образом, чтобы средний соѕ ф в точности равнялся заданному, что фиксирует электросчетчик. [3].

Регуляторы BMR могут работать и по традиционному алгоритму измерения мгновенного соs φ, 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

Список использованной литературы

- 1. Мясоедов Ю.В. Компенсация реактивной мощности в системах элекстроснабжения 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. PowerfactorcorrectionlBMRTrading [Электронный ресурс] / Режим доступа http://www.bmr-trading.com/en/products/power-factor-correction, свободный

#### Адамова А.А.

# СИНТЕЗ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМИЗАЦИИ СЕТЕВОЙ НАГРУЗКИ

#### МГТУ им. Н.Э. Баумана

Рассмотрены пути решения следующих задач:

- исследование методов и базовых положений теории синтеза распределенных сенсорных систем по критерию минимизации сетевой нагрузки, что позволило с использованием концепции кластеризации на основе события синтезировать динамически обновляющееся дерево транзакций с гарантированным временем доставки пакетов данных от активных сенсоров к блоку управления;
- разработка научных подходов к синтезу сенсора в объеме не более 1 см3, в состав которого должны входить: регистратор, процессор предварительной обработки информации, радиопередатчик, источник электропитания, позволяющих выполнить сенсор по технологии TSV, обеспечивающей интеграцию в одном корпусе кристаллов, выполненных по различным технологическим процессам и выполняющих различные функции сбора и обработки данных;
- разработка концепции сенсора шлюза, предназначенного для сбора информации от группы сенсоров, позволяющей минимизировать размеры группы сенсоров, увеличить срок их активной деятельности, увеличить скорость обмена информации без использования в сети дополнительного оборудования;
- комплексная методологическая и системотехническая разработка системы принятия информации от всей группы сенсоров, ее обработки и принятия решения, разработка специального программного обеспечения, что обеспечивает оптимальный выбор использования готовых элементов с точки зрения требований к архитектуре и ограничениям на временные ресурсы;
- разработка научных подходов к созданию энергоэффективных элементов электропитания компонентов сенсорной сети, позволяющих использовать для подзарядки встроенных источников питания сенсоров энергию электромагнитного излучения в бес-

проводном диапазоне 2,4 и 5ГГц и существенно увеличить таким образом время автономной работы элементов сенсорной сети.

Комплекс предложенных решений помимо обеспечения общей эффективности передачи данных в беспроводных сенсорных сетях, позволяет обеспечить упреждающее принятие решения, повышение помехоустойчивости, адаптацию к изменениям окружающей среды.

Разработаны принципы проектирования адаптивной беспроводной модульной сенсорной сети с алгоритмами машинного обучения. Предложены алгоритмы адаптации беспроводной сети к внешней среде, что позволяет использовать подобные сети в различных условиях без дополнительной подстройки, а также на основе собранных с датчиков данных классифицировать состояние сети, прогнозировать показания и самостоятельно принимать решения о наличии регистрируемого события.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 17-07-00689.

#### Гурин Д.С.\*

#### УСТРОЙСТВО СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

\*Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов

Представленный вариант осуществления обеспечивает способ работы устройства сверхвысокого напряжения, в котором устройство сверхвысокого напряжения включает в себя первый затвор, второй затвор, сток, первый исток, второй исток и третий исток. Способ включает получение входного напряжения; обеспечение первого тока, при этом первый ток течет от стока к первому истоку; прием первого управляющего сигнала [1], генерируемого контроллером широтно-импульсной модуляции; отключение первого тока по первому сигналу управления; прием второго управляющего сигнала, генерируемого контроллером широтно-импульсной модуляции;

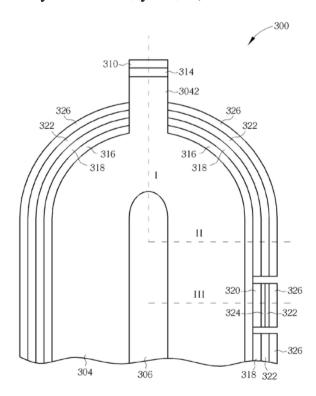


Рис. 1. – один из способов реализации устройства сверхвысокого напряжения

Устройство сверхвысокого напряжения включает в себя подложку, имеющую первый тип проводимости, первую легированную лунку, имеющую второй тип проводимо-

сти, сток, имеющий второй тип проводимости, вторую легированную лунку, имеющую первый тип проводимости, первый источник, имеющий второй тип проводимости, оксид первого поля, первый затвор, второй затвор, второй источник, имеющий второй тип проводимости, третий источник, имеющий второй тип проводимости, и основание, имеющее первый тип проводимости. Первая легированная лунка сформирована на подложке и имеет выступающую часть. Сток формируется на первой легированной лунке[2], и концентрация ионов стока выше, чем концентрация ионов в первой легированной яме. Вторая легированная лунка окружает первую легированную лунку за пределами выступающей части и сформирована на подложке. Первый источник сформирован на удлинительной части, и концентрация ионов первого источника выше, чем концентрация ионов первой легированной ямы. Первый полевой оксид образуется на первой легированной лунке вне первого истока, стока и второй легированной лунки. Первый затвор сформирован между стоком и первым истоком и расположен на первом оксиде поля.[3] Второй затвор частично сформирован на оксиде первого поля первой легированной ямы и частично сформирован на второй легированной яме. Второй источник формируется на второй легированной лунке, и концентрация ионов второго источника выше, чем концентрация ионов второй легированной лунки. Третий источник сформирован на второй легированной лунке, и концентрация ионов третьего источника выше, чем концентрация ионов второй легированной лунки. База формируется на второй легированной лунке, и концентрация ионов в основе выше, чем концентрация ионов во второй легированной лунке.

#### 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.

#### 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 результатеточечных 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 возращения 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 системе 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 являетсянизкая детализация при съёмке вертикальных объектов.

Заключение: В данной статье был подробно рассмотрен принцип работы лазерного проектирования, его преимущества и недостатки при использовании в ВІМ-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 созданий их цифровых двойников. Исследованию данного предположения и будут посвящены наши дальнейшие исследования.

#### Список использованных источников

- 1. Шаповалов, А.С. Применение лазерного сканирования в ВІМ [Текст] / А.С. Шаповалов // Информационные и графические технологии впрофессиональной 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: материалыконференции. Санкт-Петербург, 2019 С. 259-262.

#### Зацепина В.И., Астанин С.С.

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С УЧЁТОМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Липецкий государственный технический университет, кафедра электрооборудования

**Аннотация:** Важный аспект эффективности систем энергоснабжения длительность перерыва снабжения технологической машины. При определении потерь рабочего времени приёмника важно учесть влияние систем автоматического управления и релейной защиты.

**Ключевые слова:** системы, электроснабжение, отказоустойчивость, отказ, релейная защита.

Отказоустойчивость системы электроснабжение и ее электрооборудования зависят от условий эксплуатации. Отказы по отдельным единицам электрооборудования и составляющим подсистем довольно подробно приведено в различных литературных источниках. В большинстве работ показано увеличение ресурса узлов отдельных агрегатов использованием упрочняющей технологии ремонта и повышением ее качества, а результаты предварительных испытаний могут позволить увеличить надежность оборудования.

Сказывается на работе систем электроснабжения эффективность функционирования средств автоматики и релейной защиты [1, 2]. Именно эти средства позволяют управлять эффективностью функционирования как отдельных единиц оборудования, так и всей системы в целом, в тоже время средства релейной защиты и автоматики также являются не абсолютно надежными. Если сравнивать надежность силового оборудования с надежностью релейной защиты и автоматики, то этот показатель в десятки сотни раз выше. При оценке этого показателя для средств автоматики и их влияния на работу систем, надо учитывать то, что элементы средств релейной защиты не подлежат ремонту, при отказе они заменяются на исправные. Необходимо отметить, что при расчете эффективности функционирования систем электроснабжения наряду с отказами стоит учитывать безотказность систем релейной защиты и автоматики [3]. Необходимый уровень отказоустойчивости систем электроснабжения определяется такими факторами как структура системы, режимы работы оборудования и естественно используемыми средствами

защиты и управления. С этой целью стоит определять функцию распределения уменьшения длительностей отказов в электроснабжении, учитывающую воздействия релейной защиты:

$$\Delta f_{_{\Pi,B,y}}(\theta) \!=\! \Big[ f_{_{1,B,y}}(\theta) f_{_{1,p,3}}(\theta) \Big] \cdot \Big[ f_{_{2,B,y}}(\theta) f_{_{2,p,3}}(\theta) \Big] \cdot \ldots \cdot \Big[ f_{_{n,B,y}}(\theta) f_{_{n,p,3}}(\theta) \Big].$$

При проектировании электроснабжения производства будет целесообразно определить функция распределения уменьшения длительностей отказов, как показатель эффективности автоматики. Сравнение систем управления по данному критерию в некоторых случаях может быть решающим для выбора наиболее эффективной.

#### Список использованной литературы

- 1. Зацепина В.И. Анализ взаимосвязи эффективности систем автоматики и управления с эффективностью электроснабжения предприятий / В.И. Зацепина, А.Н. Шпиганович, А.А. Шпиганович, С.С. Астанин // В сборнике: Энергетика будущего цифровая трансформация. Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции. Липецк, 2020. С. 79-83.
- 2. Бочкарев С.В. Повышение эффективности устройств релейной защиты и автоматики с использованием микропроцессорных терминалов в автоматизированных системах управления технологических процессов / С.В. Бочкарев, Р.Р. Хисамов // Научнотехнический вестник Поволжья. 2018. № 5. С. 172-175.
- 3. Шпиганович А.Н. Определение безотказности обеспечения энергией приемников / Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Астанин С.С., Зацепин Е.П., Ловчий В.Р. // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2019. № 3 (57). С. 29-37.

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

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ НА ЛИНЕЙКЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ АТМЕGA В РАМКАХ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ARDUINOIDE

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 ArduinoIDE. 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 системыма ксимальной 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 осуществляется при помощи электромагнита отключения.
- 3. В связи с тем, что микроконтроллерные системы типа ArduinoIDEне направлены на работу в системах электроснабжения, невозможно говорить о полной надежности данной системы. Однако, при конструировании должных узконаправленных микроконтроллеров проблема решается в полной мере.

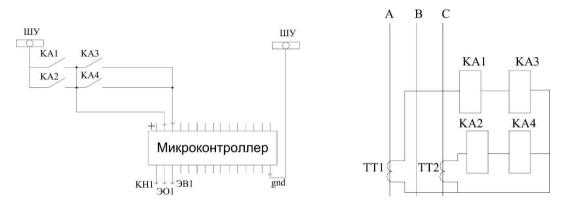


Рисунок 1 – Принципиальные схемы предлагаемой системы релейной защиты.

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.

#### 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.

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, электрокотел, солнечную систему теплоснабжения, водородный накопитель электрической энергии, тепловой аккумулятор. Поток энергии осуществляется между потребителями электрической и тепловой энергии[2].

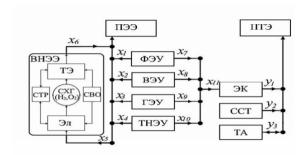


Рисунок 1 — Структурная схема гибридного энергокомплекса: x1-x11 — потоки электрической энергии; y1-y3 — потоки тепловой энергии

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].

#### Список использованной 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. Малышенко С.П. Анализ системы водородного аккумулирования электроэнергии в сравнении с другими системами аккумулирования// Теплофизика высоких температур. 2015. Т. 53, № 4. С. 538.

Кустов А.Н., Зацепина В. И.

# 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 РЗиА на представленную на рис. 1.

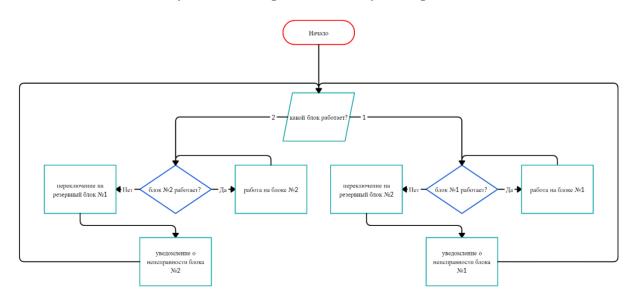


Рис. 1. Новая предлагаемая схема для РЗиА

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 сосздана 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 индикационный 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 26.

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.

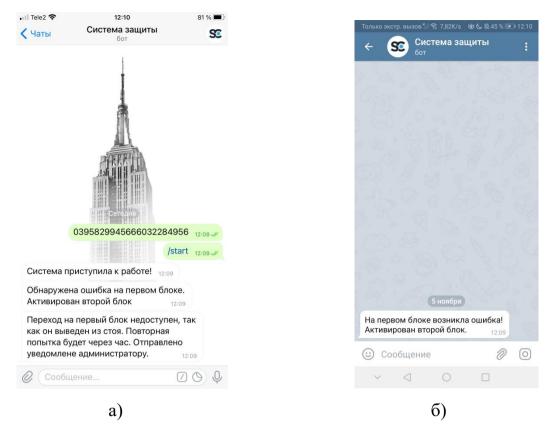


Рис. 2. Пример обнаружения неисправности на блоке РЗиА

#### Список использованных 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.

#### Малков И.В.

### АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫРАЗВИТИЯВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина, Харьков

В Украине есть значительные предпосылки для развития ветроэнергетики, а именно: большие площади для строительства ветровых преобразователей энергии(ВПЭ), свободные от промышленной и жилой застройки, от интенсивного использования в земледелии, большие мощности на машиностроительных заводах, способных производить высокоэффективные современные модели ВПЭ для внутренних потребностей Украины и на экспорт; квалифицированные кадры на машиностроительных заводах, имеющих опыт производства ВПЭ и адаптации технологической документации в украинских конструкторских и технологических стандартах, данные многолетних наблюдений характеристик ветрового режима в районах перспективного строительства ВПЭ-станций; квалифицированные кадры в области строительства, наладки и эксплуатации ВПЭ.

В Украине организуется производство ветроэнергетических установок (ВЭУ) по лицензиям иностранных компаний [1].Интенсивное развитие ветровой энергетики обусловлено государственной политикой содействия развитию возобновляемых источников энергии [2].

Одной из наиболее перспективных украинских компаний является Донбасская топливно-энергетическая компания (ДТЭК), которая стремится быть лидером на рынке ветроэнергетики. В 2009 году ДТЭК начал одну из крупнейших в Украине ветромониторингових кампаний на территории Донецкой и Запорожской областей - регионов с развитой инфраструктурой и большим потенциалом с точки зрения скорости ветра.

Украинское законодательство в сфере энергетики, основанное на опыте ЕС, устанавливает скользящую шкалу цен на энергоносители. При этом на энергию ветра, как экологически чистую технологию распространяется высокий тариф - 113 € за МВт, что на 60% выше средних европейских тарифов. Планируется, что надбавка к тарифу на зе-

леную электроэнергию сократится до нуля к 2030 году. Это создает мощный финансовый стимул активно инвестировать в развитие ветроэнергетики. Этот проект может более чем в два раза увеличить текущую установленную мощность ветроэнергетики в Украине. Это положительным образом отразится на национальной экономике [3].

Украина по оценкам специалистов имеет значительный, но пока не использованный потенциал ветровой энергии составляющий в год около 500 млрд. кВтч. Предусматривается к 2030 году построить в Украине ВПЭ общей мощностью 16 тыс. МВт. В настоящее время около сорока заводов Украины заняты в производстве лицензионных узлов для турбин USW 56-100. Сборка этих ВЭУ производится на ПО «Южный машиностроительный завод».

Производственная база Украины позволяет не только обеспечивать потребности в более дешевой ветротехнике для собственных ВПЭ, но и обеспечить ее экспорт в страны СНГ и Восточной Европы.

В настоящее время, несмотря на значительный потенциал, доля возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе страны не превышает 1%. «Зеленый тариф» на покупку электрической энергии из возобновляемых источников энергии, привлек внимание и повысил заинтересованность субъектов хозяйствования в развитии мощностей возобновляемой энергетики в Украине [1].

#### Список использованной литературы

- 1. Пашкевич Н.О. «Переосмислення ступеня відвовідальності перед майбутнім», 2010 р.
- 2. Малков І.В., Сировий Г.В., Кашкаров С.О. Аналіз вітроенергетики в Україні і подальший ії розвиток / Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. Луганськ: СНУ, №2 (173) 2012, С.290-294.
- 3. Распоряжение Кабинета Министров Украины от 19.02.09 № 254-р «О реализации инвестиционных проектов строительства ветроэлектростанций в Автономной Республике Крым и Николаевской области».

#### Манин А.В., Вайнер Д.Б.

## КОМПЕСАТОР РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА БАЗЕ МАГНИТО-ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева

**Аннотация:** Рассмотрен вариант компенсатора реактивной мощности с высокими удельными массогабаритными и стоимостными показателями и принцип его работы.

**Ключевые слова:** энергосбережение, компенсатор реактивной мощности, магнитовентильный элемент, фазоуправляемый ключ,

Необходимость применения компенсирующих устройств реактивной мощности для обеспечения энергоэффективности электрических сетей предприятий не вызывает сомнений. Как правило, электротехнологические процессы сопровождаются неравномерным и резкопеременным графиком потребления реактивной мощности. В связи с этим требуется применение специальных компенсаторов реактивной мощности, быстро реагирующих на «сбросы-набросы» реактивной мощности в сети предприятия. Разработка подобных компенсаторов осуществляется по ряду требований:

- 1. непрерывность генерирования реактивной мощности;
- 2. быстродействие (реакция на сброс-наброс реактивной мощности);
- 3. минимальные массогабаритные и стоимостные показатели, минимальные потери в устройстве и искажения, вносимые в сеть.

Одним из вариантов компенсатора, наиболее удовлетворяющего перечисленным требованиям, является статический компенсатор реактивной мощности (КРМ), выполненный на базе магнито-вентильных элементов (МВЭ), однофазное исполнение которого представлено на рис. 1 [1]. Особенностью предлагаемого схемного варианта КРМ является осуществление регулирования реактивной мощностью компенсатора по принципу переменной структуры в зависимости от состояния тиристорного фазоуправляемого ключа VS. За время полупериода питающего сетевого напряжения компенсатор работает в общем случае в двух режимах. Первый режим соответствует закрытому состоянию

ключа VS, при этом устройство генерирует максимальную реактивную мощность в электрическую сеть.

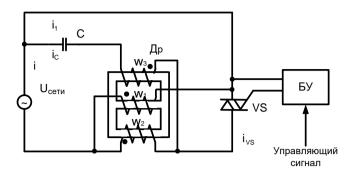


Рис. 1. КРМ на базе магнито-вентильных элементов в однофазном исполнении

Второй — открытому состоянию ключа VS, при котором обмотки среднего  $w_1$  и крайнего  $w_2$  стержней, при соответствующей между ними взаимоиндуктивной связи, оказываются включенными встречно, в результате, снижается их эквивалентное индуктивное сопротивление, вызывая протекание значительного индуктивного тока. Конденсаторная батарея C оказывается связанной с сетью посредством только индуктивной связи через обмотку крайнего стержня  $w_3$ . В зависимости от соотношения параметров обмоток во втором режиме реактивная мощность КРМ может быть равна нулю. Изменяя угол открытия тиристоров действующее значение реактивной мощности КРМ можно изменять от максимально до нулевого значений в пределах одного периода сетевого напряжения. Управление ключем осуществляется фазоимпульсным методом при естественной коммутации. Как показал анализ электрических параметров, предлагаемый вариант компенсатора обладает высокими удельными показателями:  $Q_{\rm дp} = 0.5~Q_{\rm KPM},~Q_{\rm KB} = 0.5Q_{\rm KPM},~I_{\rm VS} = 0.3I_{\rm hom},~\Delta P = 10 {\rm Bt}/\kappa {\rm BAp}.$ 

#### Список использованной литературы:

- Горшечников, А. В. Манин, Ю. А. Савиновский В. А. (с. 1062826, М. кл. 4, Н02У3/18. Источник реактивной мощности / СССР). 3506544/24-07; заявлено 01. 11. 82; опубл. 23. 12. 83, Бюл. № 47. 3 с.
- Манин А. В. Симметрирующие устройство многоплечевой трехфазной нагрузки [Текст]/
   В. В. Юдин, Н. В. Чижикова // ВЕСТНИК Рыбинской государственной авиационной технологической академии имени П.А. Соловьева: Сборник научных трудов. Рыбинск, 2010. № 3 (18).-С. 276-282.

Постников Н.Г., Орехов Е.А., Пономаренко Р.С.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

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

Исследование различных режимов работы электрических сетей в основном выполняется на основе моделей, составленных с использованием выражений теории электрических цепей (классическое представление).

Исследование линии электропередачи (ЛЭП). Каждая фаза линии электропередачи может быть представлена в виде четырёхполюсника. Уравнения четырёхполюсника, связывающие напряжения и токи на его входе и выходе, могут быть записаны в виде:

$$\begin{cases}
U_1^{\&} = \underline{A}U_2^{\&} + \sqrt{3}\underline{B}P_2^{\&} \\
P_1^{\&} = \frac{1}{\sqrt{3}}\underline{C}U_2^{\&} + \underline{D}P_2^{\&}
\end{cases}$$
(1)

Четырёхполюсник, моделирующий ЛЭП, является пассивным и симметричным. ЛЭП — это объект с распределёнными параметрами, который описывается уравнениями длинной линии, учитывающими волновой характер распространения тока и напряжения вдоль линии:

$$\begin{cases} \mathcal{U}_{1}^{\&} = \operatorname{ch}_{\underline{\gamma_{0}}} l \mathcal{U}_{2}^{\&} + \sqrt{3} \underline{Z}_{C} \operatorname{sh}_{\underline{\gamma_{0}}} l \mathcal{P}_{2}^{\&} \\ \mathcal{P}_{1}^{\&} = \frac{1}{\sqrt{3} \underline{Z}_{C}} \operatorname{sh}_{\underline{\gamma_{0}}} l \mathcal{U}_{2}^{\&} + \operatorname{ch}_{\underline{\gamma_{0}}} l \mathcal{P}_{2}^{\&}, \end{cases}$$

$$(2)$$

где:  $\underline{Z}_{C} = \sqrt{\frac{r_{0} + jx_{0}}{g_{0} + jb_{0}}}$  — волновое сопротивление линии;

Для расчётов ЛЭП обычно используют симметричную  $\Pi$ -образную схему замещения, параметры которой связаны с коэффициентами четырёхполюсника соотношениями:

$$\underline{A} = \underline{D} = 1 + \underline{ZY}; \ \underline{B} = \underline{Z}; \ \underline{C} = 2\underline{Y} + \underline{ZY}^2. \tag{3}$$

Отсюда можно определить параметры  $\Pi$ -образной схемы замещения ЛЭП:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_C \operatorname{sh} \gamma_0 l ; \qquad (4)$$

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}_C} \operatorname{th} \underline{\gamma_0} \frac{l}{2} \,. \tag{5}$$

Для ЛЭП длиной менее 300 км можно принять  $\sinh \gamma_0 \approx \gamma_0$  и  $\hbar \gamma_0 \approx \gamma_0$ , поэтому

$$\underline{Z} \approx \underline{Z}_C \underline{\gamma}_0 l = \sqrt{\frac{r_0 + jx_0}{g_0 + jb_0}} \sqrt{(r_0 + jx_0)(g_0 + jb_0)} l = (r_0 + jx_0) \cdot l = R + jX, \qquad (6)$$

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}_{C}} \underline{\gamma_{0}} \frac{l}{2} = \frac{1}{\sqrt{\frac{r_{0} + jx_{0}}{g_{0} + jb_{0}}}} \sqrt{(r_{0} + jx_{0})(g_{0} + jb_{0})} \frac{l}{2} = \frac{1}{\sqrt{\frac{r_{0} + jx_{0}}{g_{0} + jb_{0}}}} .$$

$$= (g_{0} + jb_{0}) \frac{l}{2} = \frac{G}{2} + j \frac{B}{2} \qquad (7)$$

Таким параметрам соответствует схема замещения, приведённая на рис.1.

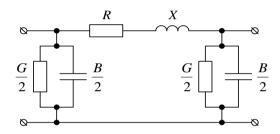


Рис. 1.—  $\Pi$ -образная схема замещения ЛЭП

Расчёты ЛЭП выполняются с помощью специализированного программного обеспечения (рис. 2).

RastrWin3																		
Файлы Расчеты Открыть Окна Помощь Стиль																		
🖺 🚱 🛃 🔀 🙎 🥵 🦣 😅 🍱 🔄 🕕 🖺 🔄 🔻 🖟 🖺 🖺 🖺 🕙 🕒 🖺															в.] [Сброс			
[ 日 ↑ * ***																		
∰ Узлы х ∰ Ветви х 爲 Токовая загрузка ЛЭП х																		
▼   # # # # # # # # # # # # # # # # # #																		
	0	S	Тип	N_нач	N_кон	N_n	ID	Название	R ≠	X	В	Кт/г	N_анц	БД	Р_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. 2.- Окно программы RastrWin3 при расчёте электрической сети

Таким образом можно изучить параметры ЛЭП и их влияния на характеристики передачи мощности в электрических сетях.

Работа выполнена под руководством к.п.н., доцента Моториной Н.П.

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 электрическихсетей, 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 днина столько высоком уровне развития интеллектуальных электросетевых комплексов, не в полной мере отображены и проработаны вопросы взаимной работы электросетевых объектов. Именно для решения данной задачи предлагается внедрениемультиконтактных 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 принципвысокоин-

теллектуальной автоматики [2]. Помимо этого, МКС оборудуется устройствами контроля, мониторинга и учёта электроэнергии. Все данные с МКС передаются 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 надежность как отдельных элементов СЭС, так и её в целом.

#### Список использованной 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.
- ЛансбергА.А. Повышение надежности электроснабжения поселка Корсунь посредством применения мультиконтактных коммутационных систем // Научный журнал молодых ученых. – 2019. – № 1 (14). – C.51-60.
- 3. *ЛансбергА.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 ВЕМи ВІМтехнологий, а также причины востребованности такого метода моделирования для энергоэффективности объектов электроэнергетики.

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

Математическое моделирование энергопотребления, которое сокращенно называют BEM (BuildingEnergyModeling) при совместном использовании с принципом BIM (BuildingInformationModeling) 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., ГримитлинА.М., ДенисихинаД.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 ВІМ или САДмодель;
  - 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 энергомоделирование будет являться обязательным условием.

Заключение: В данной статье нами были рассмотрены основные принципы энергомоделирования энергетических объектов, а также пути решений, которые помогут внедрить такой принцип проектирования в России. Стоит отметить, что совместное использование ВЕМи ВІМпроектирования 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.

#### 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.

## Стаценко Р.А., Зацепин Е. П.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УМНОГО УЧЕТА

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк),

**Аннотация:** в работе рассматривается интеллектуальные системы учета для различных объектов электроэнергетики.

Ключевые слова: умный город, управление, автоматизация, цифровизация.

Умный учет является важным направлением ІоТ-решений, которое применимы 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.

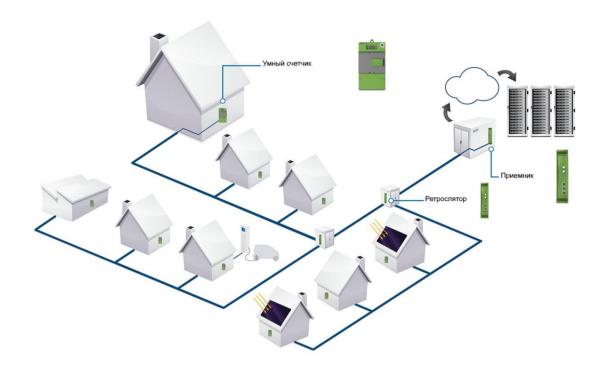


Рисунок 1 – Схема системы интеллектуального учета

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 невосстанавливающихся ресурсов.

#### Список использованной литературы

3. ІоТ-решения для умного учета [Электронный ресурс] — Режим доступа: <a href="https://nekta.tech/iot-solutions-for-smart-metering/">https://nekta.tech/iot-solutions-for-smart-metering/</a> (дата обр. 12.02.2020).

#### Селиванов К.В.

# АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРИВОД СЛЕЖЕНИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана

#### Введение

Увеличение географии использования солнечных панелей (СП) и расширение областей их применения делают актуальными вопросы совершенствования эксплуатации и повышения эффективности их работы.

Среди различных классов СП выделился отдельный класс СП, который входит в состав передвижных электростанций, часто меняющих свое географическое положение и требующих частой развертки/свертки или автоматической установки.

Проведенный автором анализ различных источников [1 - 3], посвященный проблемам эксплуатации, установки и позиционирования СП, позволяет сделать вывод о том, что основная проблема функционирования передвижных электростанций на СП — это ручная трудозатратная, требующая участия человека работа по разворачиванию и позиционированию СП, которая не обеспечивает их максимальной эффективности.

Возможным решением данной проблемы является разработка автоматизированного электромеханического привода слежения за солнцем на микроконтроллере для автоматизации процесса позиционирования СП.

# Автоматический электромеханический привод слежения за солнцем под управлением микроконтроллера

Устройство, автоматически ориентирующее панель солнечных батарей по направлению потока света, включает солнечную панель, установленную на поворотном механизме, дополнительно содержащую четыре цифровых датчика света; центральное управляющее устройство, связанное с датчиками света и шаговыми двигателями, установленными на основании; а поворотный механизм выполнен с возможностью обеспечения автоматического поворота по двум степеням свободы [2].

Микроконтроллер после получения и обработки сигналов с фотодатчиков подает управляющие сигналы на два шаговых двигателя, которые производят позиционирование СП в сторону минимизации разности подаваемых сигналов с фоторезисторов, таким образом разворачивая СП по направлению света под углом, стремящимся к 90 градусам [4].

Данное решение может быть эффективным не только для СП, не изменяющих своего географического положения в процессе работы, но и для подвижных установок. Например, для геологической экспедиции возможна генерация электроэнергии солнечными батареями в процессе движения. Эффективность СП обеспечивается при этом за счет автоматического слежения за направлением потока света и постоянным корректированием положения солнечной батареи в динамическом режиме. Предлагаемое устройство может быть эффективно в случае автоматизированной дистанционной установки солнечных батарей. Автоматический электромеханический привод слежения под управлением микроконтроллера после приземления модуля будет ориентировать солнечную батарею в направлении солнца независимо от начального положения и неровностей рельефа. При этом будет обеспечено эффективное электроснабжение объекта после его дистанционной установки.

Отдельные результаты исследований получены в рамках Гранта РФФИ №.19-07-00463

#### Список использованной литературы

- 1. Васильев И.А., Люминарская Е.С. Селиванов К.В. Гибридная энергетика как способ электрификации географически изолированных потребителей // Научно-технический журнал «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» № 4-2 (330). 2018. С. 154-161.
- 2. Гарифулина М.Р., Власов А.И., Макарчук В.В., Адамовик Н. Модель элемента солнечной батареи типа CIGS // Инженерный вестник. 2012. № 8. С. 12.
- 3. Лохматов Ю.Ю., Ничушкина Т.Н. Программа моделирования вольт-амперных характеристик и тепловыделения солнечных батарей космического аппарата // Технологии инженерных и информационных систем. 2016. № 2. С. 42-52.
- 4. Пат. №180765 РФ. Устройство автоматической ориентации панели солнечных батарей по направлению светового потока / Селиванов К.В. // Бюл. 22.06.2018. № 18. 240-245.

## Гусев М.Р., Макарчук В.В.

# РОЛЬ КОНТРОЛЛЕРОВ ЗАЩИТЫ АККУМУЛЯТОРОВ В АВТОНОМНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

## МГТУ им. Н.Э. Баумана

В связи с распространением систем, использующих автономное питание на основе Li-Ionaккумуляторов, важной задачей является обеспечение их защиты в процессе эксплуатации, поскольку они очень требовательны к условиям работы. В частности им противопоказан перезаряд и переразряд. При переразряде в аккумуляторе образуются металлические связи между катодом и анодом, которые могут привести к короткому замыканию в процессе его зарядки, а это в свою очередь может повлечь выход из строя как элементов питания, так и зарядного устройства. Перезаряд же может привести к возгоранию или даже взрыву аккумулятора.

Чтобы уберечь разрабатываемое устройство от этого необходимо предусмотреть систему управления аккумуляторной батареей— BMS-контроллер. При разработке нового варианта контроллера нужно будет удостовериться, что он будет способен обеспечить следующие виды защиты:

### 1. Защита от перезаряда/переразряда.

Для реализации этой защиты требуется схема измерения напряжения, которую можно сделать, используя аналогово-цифровой преобразователь. Однако следует принять во внимание, что если контроллер защищает большую сборку из последовательно соединённых аккумуляторов, то он должен отслеживать напряжение каждого элемента батареи отдельно, поскольку разные элементы могут иметь различную ёмкость, что означает неравномерность процесса разряда, которая также может привести к порче элемента.

Некоторые из существующих заряд-разрядных систем также не подключают нагрузку до тех пор, пока аккумулятор не зарядится до определённого напряжения после срабатывания триггера по переразряду.

## 2. Защита от превышения допустимого тока (короткого замыкания).

Чтобы внедрить защиту по току необходимо знать величину тока, протекающего по шине питания. Сделать это можно, используя шунт—резистор с большой рассеиваемой мощностью и низким сопротивлением. Однако его применение требует большой точности измерений, и, кроме того, он занимает много места на плате контроллера, что непозволительно при разработке компактных технических систем. Метод измерения величины тока, базирующийся на основе эффекта Холла, лишён этих недостатков, но его реализация стоит дороже. Поэтому самым распространённым методом определения замкнутой накоротко шины остается измерение напряжения, которое в режиме короткого замыкания может иметь весьма низкое значение.

Современные контроллеры способны измерять напряжение и реагировать на его изменение за очень короткий промежуток времени, в течение которого ущерб не будет причинен ни подключенному устройству, ни аккумуляторной батарее. Однако защита по току может функционировать и на шунт-резисторе, поскольку в случае BMS точное измерение не нужно, а важно лишь определить переход падения напряжения через определённый порог. Как только это событие наступает, контроллер при помощи транзисторов, выполняющих функцию ключей, сразу же отключает нагрузку.

#### 3. Балансировка.

В связи с имеющимися различиями в ёмкости элементов аккумуляторной батареи, они заряжаются за разное время. Соответственно, когда один ее элемент уже полностью заряжен, остальные могут ещё продолжать процесс зарядки. При разряде такой сборки большими токами полностью заряженные элементы по сравнению с недозаряженными пропустят через себя больший ток, что вызовет их ускоренный износ и может привести к их отказу. Чтобы избежать этой проблемы, необходимо применять аккумуляторные балансиры — специальные устройства, выравнивающие напряжения на элементах аккумуляторной батареи до одинакового значения.

Итак, при разработке автономных устройств заряда-разряда аккумуляторов, имеется много причин использовать литиевые аккумуляторы в качестве источника питания. Однако в стремлении сделать устройство заряда-разряда аккумуляторов энергоэффективным и надежным, следует оснащать его контроллером защиты аккумуляторов, который одновременно будет обеспечивать балансировку и защиту аккумулятора по току и

напряжению. Желание сэкономить на контроллере может привести не только к повреждению разрабатываемой системы заряда-разряда и самого аккумулятора, но и к травмам пользователя системы вследствие возможного возгорания или даже взрыва аккумуляторной батареи.

Отдельные результаты получены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования  $P\Phi$  по проекту "Фундаментальные исследования методов цифровой трансформации компонентной базы микро- и наносистем"

#### Список использованных источников

- 1. Haq, I.N., LeksonoE., IqbalM., SodamiF.X.N., Nugraha, Kurniadi, D.&YuliartoB. (2014). Development of battery management system for cell monitoring and protection. 2014 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS), p. 203-208.
- 2. Lan C.-W., Lin S.-S., Syue S.-Y., Hsu H.-Y., Huang T.-C. & Tan K.-H. (2017). Development of an intelligent lithium-ion battery-charging management system for electric vehicle. 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI),p. 1744-1746.

Терехова А.А., Дмитриевский Б.С., Дьяков И.А.

# СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Тамбовский государственный технический университет

**Аннотация:** Рассматривается автоматизированная система управления режимами функционирования электроэнергетической системы. Описаны задачи, решаемые при внедрении автоматизированной системы управления, ее модель системы управления и контролируемые параметры.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления, режимы функционирования, электроэнергетическая система.

Системы автоматизированного управления применяются на всех этапах функционирования электроэнергетической системы (ЭЭС): производство электрической энергии, ее передача, распределение и потребление. К таким системам управления предъявляются жесткие требования по обеспечению быстродействия и надежности их работы.

При внедрении автоматизированной системы управления в электроэнергетическую систему решаются следующие задачи:

- упрощение взаимодействия между элементами ЭЭС;
- упрощенный сбор и структуризация информации как об отдельных элементах,
   так и об ЭЭС в целом;
  - возможность анализа влияния изменений параметров на работу ЭЭС;
- уменьшение общего объема информации, передаваемой при управлении режимами функционирования ЭЭС;
  - повышение быстродействия системы управления ЭЭС.

Поставленные технические задачи решаются путем разделения системы управления ЭЭС на ряд подсистем, соединенных между собой средствами связи и модулями оптимизации. Также система управления режимами функционирования ЭЭС содержит программно-аппаратные комплексы, пункты управления, связанные между собою сред-

ствами коммуникации в виде цифровой сети, спутниковой или Интернет связи, которые выполнены в виде удаленных от установки технологических центральных пунктов управления, связанных с системой управления элемента ЭЭС посредством дистанционной передачи данных.

Управление режимами функционирования ЭЭС к автоматической идентификации состояний ЭЭС и мониторингу ее параметров. Среди состояний ЭЭС выделяются нормальный установившийся, утяжеленный установившийся (вынужденный), аварийный и послеаварийный установившийся режимы работы. К параметрам режима работы ЭЭС относятся значения частоты, токов в ветвях, напряжений в узлах, фазовых углов, полной, активной и реактивной мощностей электропередачи, а также значения, характеризующие несимметрию трехфазной системы напряжений или токов и несинусоидальность изменения напряжения и токов в течение периода основной частоты.

Идентификация состояний ЭЭС и мониторинга параметров осуществляется для каждой выделенной подсистемы. По сравнению с централизованной системой управления, такая автоматизированная система управления режимами работы ЭЭС многократно сокращает общий объем передаваемой информации, используемой для решения задачи управления большой ЭЭС. Соответственно, значительно повышается время быстродействия системы управления и общая эффективность и надежность функционирования ЭЭС. Данные преимущества достигаются за счет параллельной и распределенной организации информационно-вычислительного процесса решения задачи управления в ЭЭС и нахождение оптимального режима ее работы

#### Список использованных источников

- Ефремов, И.А. Принцип повышения эффективности управления режимами работы электроэнергетичесих систем/ Ефремов И.А., Таран А.С., Филиппова Т.А.//Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники 2012. №1-1(25) с. 199-203
- 2. Аюев Б.И. Методы и модели эффективного управления режимами единой электроэнергетической системы России : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 2008.

## Чекулдаева С.Р., Зацепина В.И.

# СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк),

**Аннотация:** в работе рассматривается применение волновых устройств для повышения точности определения места однофазных замыканий на землю.

**Ключевые слова:** интеллектуальный выключатель нагрузки, индикатор короткого замыкания, реклоузер, волновой метод определения места повреждения.

Замыкание одной из фаз на землю (далее ОЗЗ) — наиболее часто встречающееся повреждение в электрических сетях, на которое приходится до 80 % всех повреждений. Такие замыкания возникают при пробое изоляции или обрыве проводов воздушной линии [1]. При этом обслуживающему персоналу требуется в кратчайшие сроки найти и устранить повреждение, так как в двух других фазах повышается напряжение, что может привести к межфазному замыканию.

В настоящее время появились технологичные устройства, позволяющие не только с высокой точностью определять место, где произошло замыкание, но также передавать информацию о нем на диспетчерский пункт управления, что значительно сокращает время, необходимое для восстановления нормальной работы линии электропередач. Примером таких устройств являются реклоузеры, интеллектуальный разъединитель и выключатель нагрузки, а также индикаторы короткого замыкания [2]. Эти, а также другие устройства для определения места повреждения при ОЗЗ в настоящее время устанавливаются не только в новых сетях, но также и в рамках модернизации старых сетей, что позволяет значительно повысить надежность и бесперебойность электроснабжения потребителей.

Однако, несмотря на все достоинства этих устройств, сами они не могут просчитать расстояние до места, в котором произошло замыкание, а только указать направление (до или после данного устройства), поэтому для того, чтобы сократить время, необходимое для отыскания места повреждения, совместно с ними можно также применять устройства волнового определения места повреждения. Они считаются более точными,

по сравнению с устройствами импедансного или других типов, поскольку здесь измеряется не сила тока и напряжение, а время прохождения электромагнитной волны, которая образуется в результате пробоя (короткого замыкания). В зависимости от особенностей метода измерения они подразделяются на 5 типов.

#### К ним относятся:

Тип А. Это устройство одностороннего определения места повреждения (ОМП). В этом случае замеряется не только первая волна, возникшая в результате пробоя, но и отраженная. На рис. 1 показан принцип работы прибора типа А.

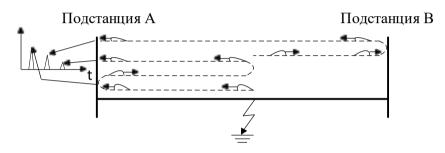


Рис. 1. Принцип работы прибора типа А

Тип В (рис. 2). Это прибор двустороннего ОМП. При коротком замыкании электромагнитные волны расходятся в противоположных направлениях и улавливаются двумя подстанциями. Их расчеты сопоставляются, что позволяет более точно установить проблемную зону.

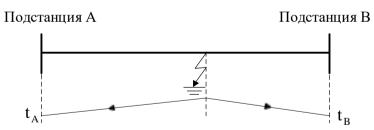


Рис. 2. Принцип работы прибора типа В

Тип С (рис. 3). Относится к устройствам одностороннего ОМП. Для определения места повреждения прибор отправляет импульс в воздушную линию и фиксирует отраженную электромагнитную волну. Полученные данные обрабатываются, и вычисляется зона короткого замыкания.

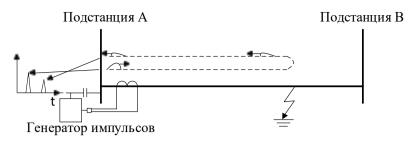


Рис. 3. Принцип работы прибора типа С

Тип D (рис. 4). Это устройства двустороннего ОМП. Система предусматривает использование двух таких приборов, синхронизированных по времени (например, по GPS). Когда волна расходится в обе стороны, ее фиксируют две самостоятельные подстанции.

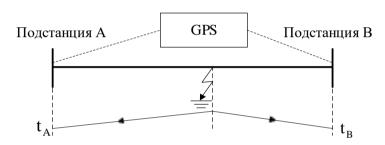


Рис. 4. Принцип работы прибора типа D

Тип Е. Относится к приборам одностороннего ОМП. С помощью коммутатора создается электромагнитная волна, которая отправляется в воздушную линию и используется для определения места повреждения. В данном случае силовой выключатель выполняет функцию трех импульсных генераторов [3]. Принцип работы прибора типа Е представлен на рис. 5.

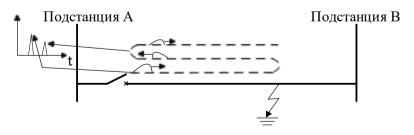


Рис. 5. Принцип работы прибора типа Е

Главным достоинством применения волнового метода можно считать его точность, которая в настоящее время составляет 60-80 метров у устройств типа TWS FL-1 и FL-8 фирмы Qualitrol. Применение их в совокупности с новейшими интеллектуальными

устройствами позволит сократить время, необходимое для обнаружения и устранения ОЗЗ, а также повысить надежность электрических сетей, улучшить качество электроснабжения потребителей и организовать полноценный мониторинг воздушных линий.

#### Список использованных источников

- 1. Отыскание замыкания на землю на воздушных линиях 6-35 кВ. [Электронный ресурс] Электрон. текстовые дан. Режим доступа: https://elektro-montagnik.ru/?address=lectures/part2/&page=page8, свободный (дата обр. 03.02.2020).
- 2. Чекулдаева С.Р. Применение волновых устройств для повышения точности определения места однофазных замыканий на землю // Тенденции развития современной науки: сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого Государственного Технического Университета. В 2х ч. (часть 1) Липецк: ЛГТУ, 2020. с. 170-172.
- 3. Основные методы определения мест повреждения. [Электронный ресурс] Электрон. текстовые дан. Режим доступа: https://angstremip.ru/blog/osnovnye\_metody\_opredeleniya\_mest\_povrezhdeniya\_omp/, свободный (дата обр. 10.02.2020).

# $Кудрявцев A.E.^{-1}$ , Зацепина $B.И.^{-2}$

## НОВЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<sup>1,2</sup>Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)

**Аннотация:** в данной статье рассмотрены различные технологии, позволяющие экономно использовать электроэнергию, с возможностью ее дальнейшего сбережения.

**Ключевые слова:** энергосберегающие технологии, источник тепла, хранение тепловой энергии, возобновляемая энергия.

Интерес к энергосберегающим технологиям в настоящее время все сильнее и сильнее. Энергоэффективные разработки привлекают внимание не только деятелей науки, но и людей, не занимающихся данной деятельностью. Подтвержденный факт, во времена низких температур пятая часть энергии тепла отапливаемых помещений теряется через оконные поверхности. Научные разработки, проводимые в последние годы позволили выявить способ, который способен превратить стекла в часть отопительной системы здания, уменьшив расход тепла через окна во времена заморозков. Используя наноантенны, представляющие собой тонкие слои никель-алюминиевого оксида, можно добиться активного поглощения ими солнечных лучей и дальнейшего преобразования их в тепло, посредством наложения антенн поверх стекол. Даже при морозе идет повышение температуры у стекла на несколько градусов. Наличие подобного стекла превращает окно в источник тепла для помещения. Данная энергосберегающая технология при грамотном использовании, особенно на всей поверхности остекления (существуют небоскребы, которые абсолютно полностью покрыты стеклом) рассматриваемые наноантенны способны заменить основной источник тепла.

Современная разработка может выступать также в роли охлаждающей остановки. Изменением химического состава и формы нанотрубок можно выбрать покрытие для конкретного спектра излучения. То тепло, которое излучается техникой и оборудованием, активно поглощается наноантеннами. Это покрытие может наноситься на различного рода поверхности. Главная задача заключается в дальнейшем отведении тепла за пределы помещения от поверхности. Также разработку используют в качестве теплоизоляции

объектов. У технологии наноантенн масса преимуществ. Используя их можно уменьшить потери тепловой энергии через окна, до 20% общего объема. Такое стекло снижает расходы на отопление, обогревая помещение бесплатно. Использование покрытия не сказывается на видимости так, как оно прозрачное, не изменяет цвета и является незаметным для человеческого глаза.

Также технология обладает некоторыми недостатками. Имеет довольно сложную технологию изготовления. Производство нанопокрытия достаточно дорогостоящий процесс, что сказывается на более длительном сроке окупаемости. Наибольший потенциал разработка сможет раскрыть в солнечных регионах, в России, к примеру, это Краснодарский край. Самым подходящим будет использование в бизнес центрах с классом энергоэффективности A+.

Ученые-энергетики из Дании предложили иновационное решение в области энергосбережения. Это мини электростанции, которые используют для выработки электроэнергии человеческий ресурс. Разработка имеет довольно простой характер функционирования и в то же время является достаточно эффективной. В ее основе лежит подключение крупных тренажерных залов к генераторам энергии. Данное решение, позволяет убрать затраты, требуемые для отопления спортивного центра, а также для пользования освещением и подогревом воды, для обеспечения электрической энергией жилые дома, в которых располагаются тренажерные комплексы [1].

Компания Kraftblock выпускает в производство батареи высокой эффективности, необходимые для хранения тепловой энергии. Сбрасываемое во время производственного процесса в атмосферу тепло способно улавливаться термическим блоком и далее его можно повторно использовать в производстве электрической энергии. Данное изобретение имеет уникальную возможность по перезарядке, обладает длительным сроком службы. В сравнении с литий-ионными аккумуляторами оно способно дольше функционировать и гораздо дешевле. Инновационная технология Kraftblock обладает конструкцией, состоящей из модулей, которые похожи на емкости, заполненные особенным гранулятом, необходимые для хранения энергии. Состав наполнителя представляет собой 85% доменного шлака и прочие материалы вторичного сырья. Вторсырье обладает высокой пользой и значительно удешевляет производство данной разработки. Удержание температуры материалом при сборе тепла из источника доходит до максимального значения в

1300° С. Обычные тепловые аккумуляторы с солевыми и бетонными наполнениями удерживают тепло с температурными значениями в 2 раза меньшими.

В процессе выпуска данного изобретения можно использовать отходы, не допуская их скапливания в отвалах. Также оно позволяет выполнять переработку вторичного тепла от работающих заводов и электростанций, что относит его к достаточно экологичным технологиям. Разработка является инновационной еще и потому, что может как копить и выдавать тепло, так и производить электроэнергию и холод. Данный аккумулятор позволяет совмещаться с ветрогенераторами и солнечными батареями, чтобы собирать энергию. Так, к примеру, прибор, имеющий длину 3 метра способен вырабатывать 16 МВт/ч, имея температуру наполнителя на уровне 1000°С. Значение максимальной емкости достигает 60 МВт/ч. Чтобы вывести накопленное тепло из аккумуляторной установки через нее пропускают холодную воду. Вода нагревается, впитывает тепло от данного гранулята [2].

Кгаftblock дает возможность декарбонизировать промышленность. Накопленную возобновляемую энергию можно доставлять людям в любое время и в любом месте в самые любые периоды, к примеру, в отсутствие солнца или же ветра. Технология позволяет транспортировать большое количество тепла. Существуют также концепции, готовые к масштабированию, обеспечивающие изоляцию с меньшими потерями тепла, нежели в других приложениях. Эффективность технологии также достигается за счет наличия систем хранения в модульных контейнерах, мобильных, передвижных и стационарных приложениях.

В связи с часто возникающимися проблемами у электродвигателей, они изнашиваются, происходят перегревы, дефекты, поломка, что неизбежно приводит к перерасходам электрической энергии и соотвественно к дальнейшим поломкам электрических аппаратов. Вовремя провести техническое обслуживание или заменить проблемный электрический двигатель не всегда предоставляется возможность. Данную проблему удалось решить с помощью разработки акустического мониторинга электрических двигателей. Сенсор, установленный на электрический аппарат «слушает» шумы, издаваемые двигателем. Далее информация, поступившая со всех сенсоров анализируется искусственным интеллектом, тот, в свою очередь способен выявить двигатель, нуждающийся в техническом обслуживании. Данная инновация позволит значительно понизить потери электрической энергии как в двигателях, так и на производстве в целом [3].

#### Список используемых источников

- 1. *Мальцев В.В.* Новые энергосберегающие технологии // Научно образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем 21 века. 2019. С. 177-182
- 2. Инновационные тепловые аккумуляторы, работающие на вторсырье [Электронный ресурс] Режим доступа: <a href="https://pechiexpert.ru/innovatsionnye-teplovye-akkumulyatory-10/">https://pechiexpert.ru/innovatsionnye-teplovye-akkumulyatory-10/</a> (дата обр. 19.10.2020).
- 3. *Куделин Н. В.* Определение состояний электродвигателя и анализ акустических шумов // Auditorium. Электронный журнал. 2018. № 3 (19). С. 16

Курилов В.Ю. $^{1}$ , Зацепина В.И. $^{2}$ 

# ЭНЕРГИЯ ВОДЫ: МИНИГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ И ЕЁ ПЕРСПЕКТИВЫ В СЕГОДНЯШНИХ РЕАЛИЯХ

 $^{1}$ Липецкий государственный технический университет (г. $\Pi$ ипецк),

**Аннотация:** в данной статье рассмотрена альтернативная технология добычи электроэнергии, с возможностью её дальнейшего потребления.

**Ключевые слова:** гидроэлектростанция, малые ГЭС, альтернативная добыча электроэнергии, нетрадиционная энергетика.

Россия — самая богатая природными ресурсами страна мира. На её общей протяженности находятся миллионы малых рек, которые в свою очередь позволяют людям получать электрическую энергию производствами на малых ГЭС России. Принцип работы малых ГЭС основан на том, что вода, находящаяся под напором, попадает в водовод. Вода, перемещаясь в заданном направлении, поступает на лопасти гидравлической турбины. Турбина передаёт своё вращательное движение на вращательное движение генератора, который и производит ток. Добиться течения воды под напором возможно с помощью строительства плотин или естественным течением воды в горных районах.

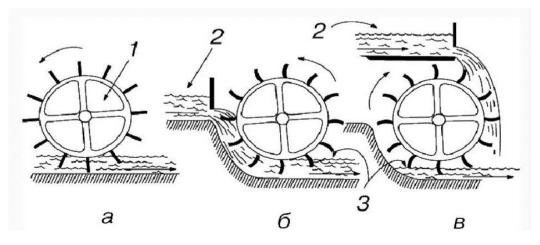


Рисунок 1 – Водяные колёса:

а – подливное колесо; б – среднебойное колесо; в – наливное колесо

1 – вал; 2 – уровень воды в верхнем бьефе; 3 – уровень воды в нижнем бьефе

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Липецкий государственный технический университет (г.Липецк),

Строить малые ГЭС желательно в горнах районах, так как река протекает под напором. С экономической точки зрения это позволит нам уменьшить расходы на покупке дорогостоящего оборудования. Установка мини ГЭС в России выгодно, так как это позволило бы сократить расходы на органическое топливо, рост цен которой приводит к удорожанию электрической энергии.

Малые ГЭС стремительно развивались и были широко востребованы в СССР. Так, например, пик востребованности пришёл на 50-е годы двадцатого века, было построено более 6500 тысяч МГЭС. Развитие страны не стояло на месте, было принято отказаться от выпуска оборудования для малых ГЭС и сделать упор на строительстве мощных ГЭС, способные обеспечивать энергией целый регионы.

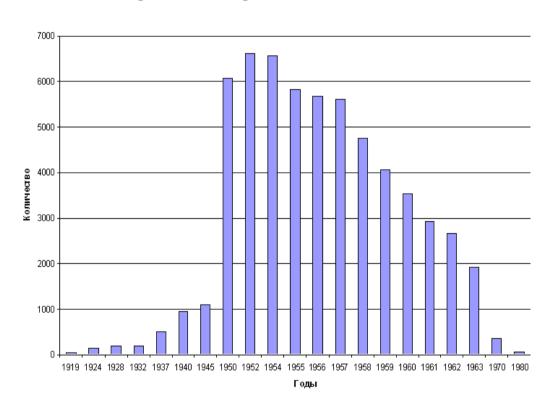


Рисунок 2 – Количество малых ГЭС, действующих в СССР

Интерес людей к малым ГЭС в сегодняшних реалиях возник, так как она обладает определенными преимуществами, а именно:

1. Установка микро-ГЭС позволяет сохранить и не навредить ущерб окружающей среде, а также экономить на дорогостоящем оборудовании. В процессе строительства малая ГЭС не приносит ущерб природному ландшафту, вода пригодна для водоснабжения домов, а рыбы не ощущают никакого негативного влияния в подобных местностях.

- 2. Относительно других источников энергии малая ГЭС практически не зависит от погодных условий. Ей не важно в каких климатических условиях работать. Малая ГЭС всегда будет способна выработать потребителю недорогую и весьма качественную электроэнергию. Возможность потреблять электроэнергию круглый год без каких-либо перебоев.
- 3. Малая ГЭС способна работать в автономном режиме. Она не требуется в дополнительном рабочем персонале, так как управление малыми гидрогенераторами производится в дистанционном режиме.
- 4. В строительстве малых ГЭС отсутствуют проблемы, какие могли возникнуть в результате строительства крупных объектов по производству электроэнергии.
- 5. Надёжность и продолжительный срок службы установок, что позволяет экономить на затратах оборудования.

Эти и другие перечисленные особенности малой ГЭС позволяют убедиться в целе-сообразности использования способа добычи дешёвой электроэнергии таким способом. Главным и определяющим фактором является то, что малая ГЭС не нарушает естественный природный баланс.

Срок окупаемости малых ГЭС показывает довольно оптимистические результаты. По результатам расчетов некоторых учёных было выяснено, что при строительстве малой ГЭС общей мощностью 500 кВт стоимость строительных работ составит ~ 16 миллионов рублей, а при уже имеющих документаций, необходимого оборудования и монтажных работ срок введения МГЭС в эксплуатацию составит не более года. При прочих затратах и себестоимости электроэнергии, выработанной малой ГЭС, срок окупаемости составит не более 5 лет. Стоит отметить, что затраты и сроки окупаемости варьируются в том числе и от выбора места и размещения малой ГЭС. Это в первую очередь зависит от природных условий и желания будущего потребителя.

Освоение энергии небольших водоток с помощью малых ГЭС безусловно является одним из наиболее перспективных направлений в области нетрадиционной энергетики в России. Природные условия нашей страны позволяют оптимистически наблюдать за развитием малой гидроэнергетикой. При современном уровне доступности информации и необходимых материалов малую ГЭС возможно построить на своём участке своими руками было бы желание и подходящая река.

#### Список используемой литературы

- 1. Обухов С.Г. Система генерирования электрической энергии с использованием возобновляемых энергоресурсов //Учебное пособие. - 2008. – С. 140.
- 2. Лакутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергетики //Учебное пособие. 2008. C.187.
- 3. Березовский Н.И. Технология энергосбережения //Учебное пособие. 2007. С. 152.
- 4. Затеев В.Б. Введение в специальность гидроэнергетика//Учебное пособие. 2007. С. 156.
- 5. Новиков Ю.В. Охрана окружающей среды//Учебное пособие. 1987. –С. 288.
- 6. Аршеневский Н.Н. Основа использования водной энергии//Энергия. 1974. С. 395.

#### Павлов И.В., Зацепина В.И.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк),

**Аннотация:** в данной работе рассматриваются современные методы компенсации реактивной мощности, направленные на компенсацию гармонических нагрузок, ликвидацию перегрузок, уменьшение потерь в линии и трансформаторе с целью повышения качества электроэнергии.

**Ключевые слова:** компенсация реактивной мощности, пассивные фильтры, активные фильтры, настроенная компенсация, компенсация без настройки, индуктивная компенсация.

Различные преобразователи электрической энергии все чаще используются как в промышленных, так и в общественных сетях с целью обеспечения эффективного использования электроэнергии - от источников питания и энергосберегающих ламп с низким энергопотреблением до роторных приводов. Доля этих систем в общей электроэнергии, потребляемой из наших сетей, неуклонно растет. Возникающие в результате нарушения в сети, такие как изменения напряжения, несимметрия, гармоники, коммутационные помехи, могут привести к резкому ухудшению качества электроэнергии, если не будут приняты эффективные меры. В то же время происходит снижение мощности короткого замыкания в линии из-за мощности, подаваемой через проводящие элементы. Производители оборудования и систем компенсации реактивной мощности были вынуждены иметь дело с постоянным ухудшением качества электроэнергии. В новых концепциях особое внимание уделяется тому, как компенсировать увеличение гармонических нагрузок, которым системы компенсации реактивной мощности с нерасстроенными конденсаторами очень восприимчивы. Далее будут рассмотрены наиболее актуальные способы:

- Компенсация настроенная и без настройки
- Индуктивная компенсация
- Цепи пассивных фильтров

## • Активные фильтры

Некоторые из этих технологий защищают систему только от опасных сверхтоков; другие улучшают качество электроэнергии. Перед тем, как выбрать лучшую систему с точки зрения технологии, местоположения и стоимости, необходимо провести измерения качества электроэнергии и сделать оценки результирующих сетевых нарушений в планируемой системе. На рисунке 1 кратко изображён основной принцип компенсации реактивной мощности.

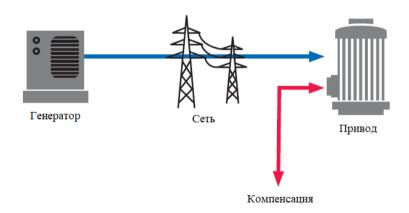


Рисунок 1 – Основной принцип компенсации.

Описанные ниже способы представляют собой современные методы в области компенсации реактивной мощности и представляют собой наиболее известные способы. С годами проблемы, с которыми необходимо столкнуться изменялись. Устройства и системы для компенсации реактивной мощности и улучшения качества электроэнергии также продолжали развиваться. Всего несколько лет назад основное внимание уделялось снижению затрат на потребление реактивной мощности и сокращению потерь в сети. Рассмотрим далее способы компенсации.

Настроенная компенсация (настроенные схемы фильтров) Помимо собственно основной задачи компенсации реактивной мощности, риск перегрузки по току из-за резонанса можно в значительной степени исключить путем правильного выбора типа настройки для системы компенсации и конструкции используемых конденсаторов и катушек индуктивности. Степень настройки также может быть выбрана таким образом, чтобы уменьшить низкочастотные гармоники в сети потребителя или сохранить контроль пульсаций звуковой частоты в распределительной сети без помех. Старение компонентов и увеличение уровней гармоник из-за изменения технологий устройств озна-

чают, что оборудование и системы необходимо контролировать для своевременного выявления риска перегрузки.

Компенсация без настройки. При компенсации без настройки конденсаторы используются как чисто емкостная ветвь. В прошлом это было стандартное решение, используемое для экономии затрат на реактивную мощность, рассчитываемых поставщиком электроэнергии. Это уменьшает полную мощность в линии питания и, таким образом, уменьшает потери в линии и трансформаторе.

Пассивные фильтры (цепи пассивных фильтров). Пассивные фильтры имеют собственную резонансную частоту, очень близкую к частоте гармонического тока, отфильтровываемого от потребителя или группы потребителей, таких как преобразователи мощности привода. Чтобы предотвратить переходные процессы в одних и тех же цепях фильтров, частота настройки индуктивно настроена на 5–10 Гц. Это эффективно фильтрует гармонический ток, исходящий от источника, и предотвращает его передачу в распределительную сеть; это значительно снижает нагрузку от гармонического тока в линии питания или трансформаторе.

Индуктивная компенсация. Резкое увеличение количества кабелей в наших сетях и особенно увеличение количества подключенных фотоэлектрических и ветряных электростанций делает необходимым компенсацию емкостной нагрузки в определенное время суток с помощью индукторов. Как и в системах настроенной компенсации, это может быть контактор или тиристор, включаемый на низком уровне напряжения или включаемый и выключаемый на среднем уровне напряжения с помощью автоматических выключаелей с RC цепями.

Активные фильтры. Активный фильтр — это электронная система, которая использует активную мощность для улучшения качества электроэнергии. Активная фильтрация — это современная, универсальная технология. Активный фильтр может подавлять гармоники разного порядка, выполнять динамическую компенсацию реактивной мощности как емкостным, так и индуктивным образом или компенсировать дисбалансы напряжений. Для компенсации гармоник можно установить определенную степень компенсации для каждой отдельной гармоники. Таким образом, фильтруются только установленные предельные значения, согласованные с оператором сети. Благодаря высокой динамике некоторые активные фильтры даже способны эффективно корректировать из-

менения формы сигнала тока, которые представлены коммутационными метками. Помимо компенсации трех проводников, активные фильтры также предлагают возможность уменьшения гармоник в нейтральном проводе.

#### Список литературы

- 1. Мясоедов Ю.В. Компенсация реактивной мощности в системах элекстроснабжения с распределённой генерацией [Текст] / Ю.В. Мясоедов // учеб. пособие. И: АмГУ, 2013. 117 с.
- New Technologies for Reactive Power Compensation in Electrical Networks [Электронный ресурс] / Режим доступа <a href="https://www.zvei.org/fileadmin/user\_upload/">https://www.zvei.org/fileadmin/user\_upload/</a>
   Presse\_und\_Medien/Publikationen/2012/Dezember/New\_Technologies\_for\_Reactive\_Power\_
   Compensation/New\_Technologies\_for\_Reactive\_Power\_Compensation.pdf, свободный
- 3. 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.

## Зацепин Е.П., Старцева Д.О.

# АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕХОДА ОТ CAD-СИСТЕМ К ВІМ МОДЕЛИРОВАНИЮ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: В данной статье поднимается вопрос об актуальности использования ВІМ технологий по сравнению с CAD-системами. Данная проблема уже поднималась ранее в публикации [1], в которой рассматривались этапы становления и развития ВІМ технологий.

**Ключевые слова:** ВІМ-модель, актуальность информационного проектирования, CADсистемы.

**Введение:** До появления первых ЭВМ процесс проектирования был полностью ручным, а для представления объёмных моделей использовали планы разрезов в виде перспектив, из-за чего итоговые чертежи получались сомнительными. В связи с этим, широкое применение нашла практика создания макетов для проектируемых объектов.

Иван Сазерленд в 1963 году разрабатывает первую САD-систему, которая является автоматизированной с использованием графического пользовательского интерфейса [2]. Постепенно ручной труд проектировщиков стал переходить на автоматизированный, но большинство проблем, которые были связаны с переизбытком информации и необходимостью корректировать большую часть рабочих листов при замене хотя бы одного элемента так и остались.

Целью данного исследования является анализ актуальности перехода проектных организаций или частных пользователей с CAD-проектирования на BIM-системы.

**Основная часть:** В 1980-х годах происходит бурное развитие систем информационного моделирования. Разработка проектных систем ArchiCAD и подобных ей помогает создать первое видение информационного моделирования, которая стала базовой для ВІМ современности.

1993 год ознаменовался созданием такой важной системы, как советник по проектированию, который помогал проектировщику не только отрисовать геометрию сооружений, но и предлагал возможные решения по улучшению проектных решений [2, 3].

С течением времени, все более наглядно видно, что CAD программы и системы уже не могут реализовать требования заказчиков к моделям. В таком случае можно отметить, что BIM моделирование начинает занимать всё более важные позиции в работе проектировщиков.

Для примера рассмотрим внимательно рисунок 1. В нем рассматривается проектирование семейства КТП для цеха в среде ВІМ. Очевидным достоинством ВІМ по сравнению с САD-системами является вышеупомянутое создание семейств — элементов с записанной информацией в свойствах, расчётных формулах внутри семейства и геометрией. Такие семейства можно выгружать из одного проекта в другой без пересчета параметров расчётных формул, так как в ВІМ среде это происходит автоматически.

ВІМ-модель представляет собой собранную и структурированную информацию о проектируемом, существующем или даже утраченном при стадии сноса объекте. Вся полученная информация хранится в общей среде данных и является единственным и достоверным источником информации. Основным назначением ВІМ моделей является решение всех вопросов и задач на всей проектной дистанции функционирования и существования объекта. Также важным аспектом является возможность обновления модели. При всех прочих условиях, ВІМ системы должны создавать свои модели с учётом ряда требований: согласование, координации, анализ и геометрические соотношения для ВІМ моделей [3].

Для большей наглядности всех этапов функционирования и существования модели стоит обратиться к рисунку 2.

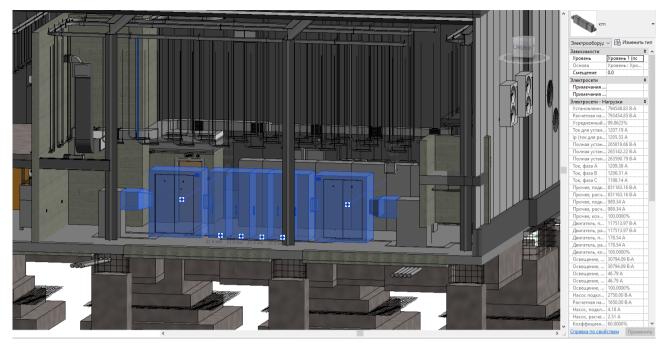


Рисунок 1 – BIM модель проектируемой КТП

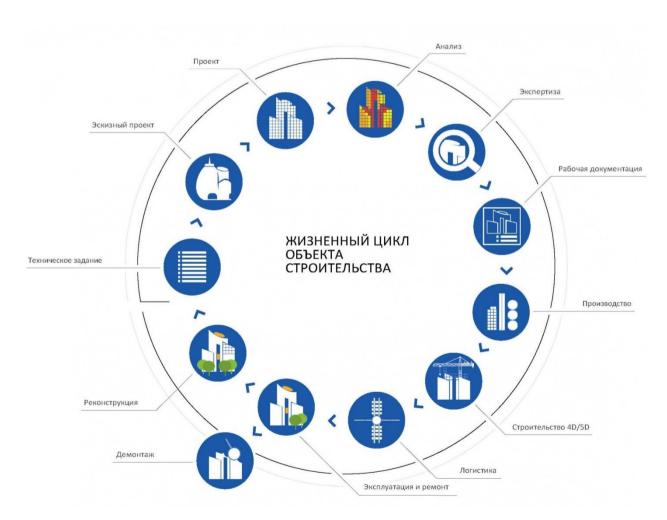


Рисунок 2 – Жизненный цикл здания или сооружения

**Заключение:** Информационное проектирование имеет множество преимуществ перед системами ставших уже стандартными САD-проектов. Подводя итоги, выделим основные преимущества ВІМ систем:

- 1. Уменьшение значимости человеческого фактора за счёт встроенной автоматической проверки на пересечения с другими объектами;
- 2. Возобновляемость созданных семейств элементов проектируемых систем при переносе их в другие проекты;
- 3. Расчётные параметры сохраняют свои математические аппараты и автоматически пересчитываются при каких-либо изменениях в проекте;
  - 4. Больший спектр решаемых задач по сравнению с САD-системами.

Все вышеописанное показывает актуальность развития и перехода к ВІМ моделям. Дальнейшие наши исследования будут посвящены более детальной оценке перехода от CAD-систем к ВІМ проектированию с позиции экономической обоснованности данного перехода.

#### Список источников

- Чегодаева, М.А. Этапы формирования и перспективы развития ВІМ-технологий [Текст] / М.А. Чегодаева // Молодой ученый. 2017. №10. С. 105-108.
- Шеина, С.Г. Исследование этапов развития ВІМ-технологий в мировой практике и России [Текст] / С.Г. Шеина, К.С. Петров, А.А. Федоров // Строительство и техногенная безопасность. 2019. №14. С. 7-14.
- 3. Карякин, Ю.Е. Концепция ВІМ-технологий: прикладное значение при капитальном ремонте жилых зданий [Текст] / Ю.Е. Карякин, В.А. Головкин // Математическое и информационное моделирование: сб. науч. тр. Тюмень, 2019. С. 168-184.

Стаценко Р.А., Зацепин Е. П.

# МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ КАК СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

 $^{1}$ Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)

**Аннотация:** в данной статье рассмотрена возможность модернизации систем учета электропотребления для уменьшения потерь электроэнергии.

Ключевые слова: энергоэффективность, модернизация, умный учет

Один из главных фактов эффективности энергокомплекса России является соотношения выработанной энергии к потребленной. В России наблюдается рост потерь электроэнергии [1]. Одной из главных причин является рост коммерческих потерь. Многие считают, что целиком и полностью рост обусловлен неучтенным потреблением электроэнергии потребителями. Но зачастую умалчивают, что более половины всех коммерческих потерь связано с погрешностями системы учета электроэнергии из-за ее несовершенства [2].

В России учет ведется с помощью ручного считывания и минимального количества систем AMR (Automatic Meter Reading) Данные системы не являются совершенными и имеют ряд проблем, которые только ускоряют процесс роста потерь. Основными из них являются: неточность показаний, ошибочные показания, отсутствие постоянного контроля и учета откорректированных показаний, хищение электроэнергии.

Для эффективного сокращения потерь электроэнергии необходимо осуществить переход к системам AMI (Advanced Metering Infrastructure) или HAN (home area network). AMI —главная технология для повышения эффективности распределения и использования электроэнергии, следовательно и к снижению потерь. Системы типа AMI реализуют с помощью известных способов связи.

Главным преимуществом систем AMI является возможность развития систем HAN, основанных на взаимодействии интеллектуальных счетчиков с развитой системой умного дома. На рисунке 1 приведена локальная сеть, основанная на взаимодействии двух систем.

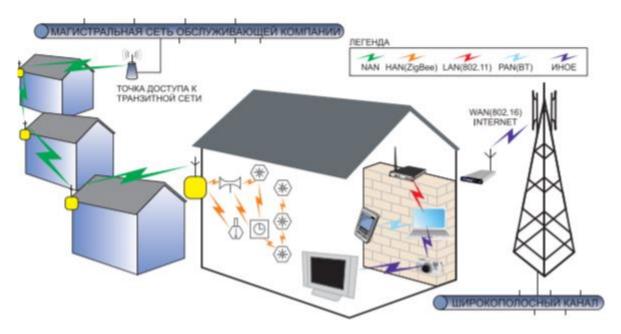


Рисунок 1 - Локальная сеть, основанная на взаимодействии интеллектуальных систем.

Основные достоинства данной системы:

- проведение контроля выработки энергии;
- формирования рыночной цены, и вовлечение потребителя в создание нагрузок и цен на энергию;
  - определение качества энергии;
  - сведение к нулю кражи электричества;
  - предоставление информации об авариях.

С помощью данной системы возможно предоставлять информацию минуя бумажные носители. Это позволит потребителям следить за расходами на электроэнергию в реальном времени. Обслуживающая компания может, оповестить потребителя о повышении/понижении тарифа. Для этого требуется использовать оборудование и программное обеспечение, которое отвечает требованиям системы [3]. Так же возможно разрешить управляющим компаниям регулировать потребление дома через счетчик, повысив энергоэффективость. Или ограничить потребление энергии из-за неуплаты. Все эти действия выполняются удаленно и не требует посещения потребителя. Для этого необходимо создать локальную сеть. Все это помогает экономить ресурсы, которые возможно направить туда где они более востребованы.

Использование АМІ технологий в энергетике страны позволит создать прозрачную структуру электропотребления и уменьшить потери. Технологии НАN смогут вывести использование электроэнергии на новый уровень и приблизить современное потребление электричества к концепции «интернет энергии».

#### Библиографический список

- 1. Орлик В.Г. О поддержании надежности энергоснабжения в период рыночных преобразований // Энергетик. 2006. № 11. С. 2-4; № 4. С. 50.
- 2. IoT-решения для умного учета [Электронный ресурс] Режим доступа: <a href="https://nekta.tech/iot-solutions-for-smart-metering/">https://nekta.tech/iot-solutions-for-smart-metering/</a> (дата обр. 07.02.2020).
- 3. Лафазан В. Малая энергетика важнейший фактор энергобезопасности страны // ЖКХ. 2006. № 12. С. 42-44

# Умаров В.О., Зацепина В.И.

# ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ HVDC

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк),

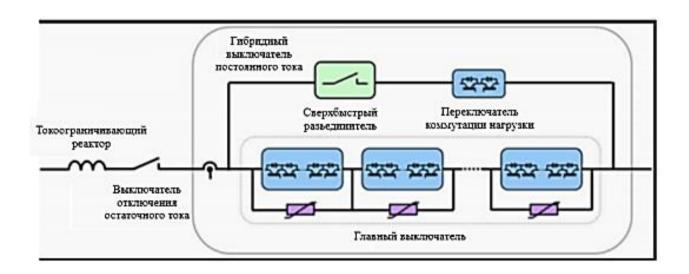
Аннотация: в данной работе рассматриваются быстрые и надежные выключатели HVDC необходимы для изоляции неисправностей и предотвращения коллапса общего напряжения сети HVDC, поддержание разумного уровня напряжения HVDC является предварительным условием нормальной работы преобразовательной станции.

**Ключевые слова:** повышение надежности электрической сети, гибридный выключатель, механический выключатель, High-Voltage Direct Current.

Гибридный выключатель HVDC от ABB. Гибридная конструкция имеет незначительные потери проводимости, сохраняя при этом сверхбыструю возможность прерывания тока. Системы передачи высокого напряжения постоянного тока (HVDC) на основе преобразователя напряжения ( VSC ) позволяют строить сетку HVDC со многими терминалами. По сравнению с высоковольтными сетями переменного тока (АС), потери активной мощности относительно низкие, а потери проводимости реактивной мощности равны нулю в сетке HVDC. Это преимущество делает сетку HVDC более привлекательной. Однако относительно низкий импеданс в сетях HVDC является проблемой, когда возникает ошибка короткого замыкания, поскольку проникновение ошибки происходит намного быстрее и глубже. Следовательно, быстрые и надежные выключатели HVDC необходимы для изоляции неисправностей и предотвращения коллапса общего напряжения сети HVDC. Кроме того, поддержание разумного уровня напряжения HVDC является предварительным условием нормальной работы преобразовательной станции. Чтобы минимизировать помехи в работе преобразователя, в частности, работу станций, не подключенных к неисправной линии или кабелю, необходимо устранить неисправность в течение нескольких миллисекунд.

Гибридный выключатель HVDC состоит из дополнительной ветви, байпаса, образованного переключателем коммутации нагрузки на основе полупроводников последовательно с быстрым механическим разъединителем.

Основной полупроводниковый выключатель HVDC разделен на несколько секций с индивидуальными банками-разрядниками, рассчитанными на полное напряжение и возможность отключения тока, тогда как коммутатор коммутации нагрузки соответствует более низким напряжению и энергопотреблению. После устранения неисправностей отключенный автоматический выключатель прерывает остаточный ток и изолирует неисправную линию от сетки HVDC для защиты защитных блоков гибридного выключателя HVDC от тепловой перегрузки.



Во время нормальной работы ток будет проходить только через байпас, а ток в главном выключателе равен нулю. Когда возникает ошибка HVDC, коммутатор коммутации нагрузки немедленно коммутирует ток с главным выключателем HVDC, а быстрый разъединитель открывается. При механическом выключателе в открытом положении главный выключатель HVDC разрушает ток.

Механический выключатель изолирует переключатель коммутации нагрузки от первичного напряжения на главном выключателе HVDC во время размыкания. Таким образом, требуемый номинальный ток коммутатора нагрузки значительно снижается.

Успешное переключение токового тока в основной канал прерывания HVDC требует наличия напряжения в коммутаторе коммутации нагрузки, превышающего напряжение на входе главного выключателя HVDC, которое обычно находится в диапазоне кВ для выключателя HVDC 320 кВ.

Этот результат при типичных напряжениях на входе коммутатора нагрузки находится в диапазоне только нескольких вольт.

Таким образом, передаточные потери гибридной концепции выключателя HVDC значительно уменьшаются до процента потерь, понесенных чистым полупроводниковым выключателем.

Механический выключатель открывается при нулевом токе с напряжением низкого напряжения и, таким образом, может быть реализован как разъединитель с облегченной контактной системой. Быстродействующий разъединитель будет подвергаться максимальному напряжению между полюсами, определяемому защитным уровнем блоков разрядников, после того, как он находится в открытом положении, пока главный выключатель HVDC открывается.

Приводы Thomson приводят к быстрому времени открывания и компактной конструкции разъединителя с использованием SF6 в качестве изолирующего материала.

Существующие механические выключатели HVDC способны прерывать токи HVDC в течение нескольких десятков миллисекунд, но это слишком медленно для удовлетворения требований надежной сети HVDC.

Выключатели HVDC на основе полупроводников могут легко преодолевать ограничения рабочей скорости, но создавать большие потери при передаче, как правило, в диапазоне 30 процентов потерь преобразователя напряжения. Чтобы преодолеть эти препятствия, ABB разработала гибридный выключатель HVDC, описанный выше. Гибридная конструкция имеет незначительные потери на проводимость, сохраняя при этом сверхбыструю возможность прерывания тока.

#### Список литературы

- 1. Волков Н.Г. Надежность электроснабжения: учебное пособие. Томск, 2003,—140 с.
- 2. Фокин Ю.А. Надежность и эффективность сетей электрических систем. М.: Высш. шк., 1989. 151 с.
- The hybrid HVDC breaker [Электронный ресурс] / Режим доступа <a href="https://www.abb-conversations.com/2012/11/abb-achieves-another-milestone-in-electrical-engineering/">https://www.abb-conversations.com/2012/11/abb-achieves-another-milestone-in-electrical-engineering/</a>, свободный

# Чекулдаева С.Р., Зацепин Е.П.

# СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

Липецкий государственный технический университет (г. Липецк),

**Аннотация:** (на русском языке): в работе рассматривается применение волновых устройств для повышения точности определения места однофазных замыканий на землю.

Ключевые слова (на русском языке): интеллектуальный выключатель нагрузки, индикатор короткого замыкания, реклоузер, волновой метод определения места повреждения.

Замыкание одной из фаз на землю (далее O33) — наиболее часто встречающееся повреждение в электрических сетях, на которое приходится до 80 % всех повреждений. Такие замыкания возникают при пробое изоляции или обрыве проводов воздушной линии [1]. При этом обслуживающему персоналу требуется в кратчайшие сроки найти и устранить повреждение, так как в двух других фазах повышается напряжение, что может привести к межфазному замыканию.

В настоящее время появились технологичные устройства, позволяющие не только с высокой точностью определять место, где произошло замыкание, но также передавать информацию о нем на диспетчерский пункт управления, что значительно сокращает время, необходимое для восстановления нормальной работы линии электропередач. Примером таких устройств являются реклоузеры, интеллектуальный разъединитель и выключатель нагрузки, а также индикаторы короткого замыкания [2]. Эти, а также другие устройства для определения места повреждения при ОЗЗ в настоящее время устанавливаются не только в новых сетях, но также и в рамках модернизации старых сетей, что позволяет значительно повысить надежность и бесперебойность электроснабжения потребителей.

Однако, несмотря на все достоинства этих устройств, сами они не могут просчитать расстояние до места, в котором произошло замыкание, а только указать направление (до или после данного устройства), поэтому для того, чтобы сократить время, необходимое для отыскания места повреждения, совместно с ними можно также применять устройства волнового определения места повреждения. Они считаются более точными,

по сравнению с устройствами импедансного или других типов, поскольку здесь измеряется не сила тока и напряжение, а время прохождения электромагнитной волны, которая образуется в результате пробоя (короткого замыкания). В зависимости от особенностей метода измерения они подразделяются на 5 типов.

#### К ним относятся:

Тип А. Это устройство одностороннего определения места повреждения (ОМП). В этом случае замеряется не только первая волна, возникшая в результате пробоя, но и отраженная. На рис. 1 показан принцип работы прибора типа А.

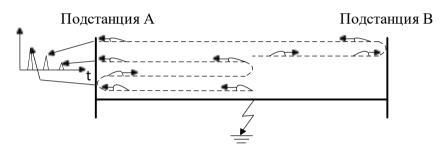


Рис. 1. Принцип работы прибора типа А

Тип В (рис. 2). Это прибор двустороннего ОМП. При коротком замыкании электромагнитные волны расходятся в противоположных направлениях и улавливаются двумя подстанциями. Их расчеты сопоставляются, что позволяет более точно установить проблемную зону.

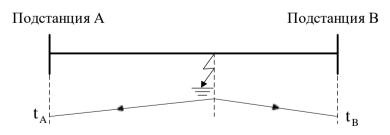


Рис. 2. Принцип работы прибора типа В

Тип С (рис. 3). Относится к устройствам одностороннего ОМП. Для определения места повреждения прибор отправляет импульс в воздушную линию и фиксирует отраженную электромагнитную волну. Полученные данные обрабатываются, и вычисляется зона короткого замыкания.

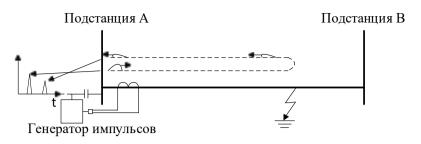


Рис. 3. Принцип работы прибора типа С

Тип D (рис. 4). Это устройства двустороннего ОМП. Система предусматривает использование двух таких приборов, синхронизированных по времени (например, по GPS). Когда волна расходится в обе стороны, ее фиксируют две самостоятельные подстанции.

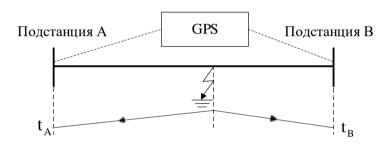


Рис. 4. Принцип работы прибора типа D

Тип Е. Относится к приборам одностороннего ОМП. С помощью коммутатора создается электромагнитная волна, которая отправляется в воздушную линию и используется для определения места повреждения. В данном случае силовой выключатель выполняет функцию трех импульсных генераторов [3]. Принцип работы прибора типа Е представлен на рис. 5.

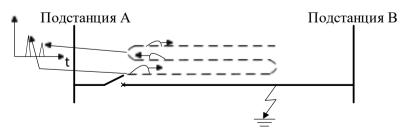


Рис. 5. Принцип работы прибора типа Е

Главным достоинством применения волнового метода можно считать его точность, которая в настоящее время составляет 60-80 метров у устройств типа TWS FL-1 и FL-8

фирмы Qualitrol. Применение их в совокупности с новейшими интеллектуальными устройствами позволит сократить время, необходимое для обнаружения и устранения ОЗЗ, а также повысить надежность электрических сетей, улучшить качество электроснабжения потребителей и организовать полноценный мониторинг воздушных линий.

# Список используемых источников

- 1. Отыскание замыкания на землю на воздушных линиях 6-35 кВ. [Электронный ресурс] Электрон. текстовые дан. Режим доступа: https://elektro-montagnik.ru/?address=lectures/part2/&page=page8, свободный (дата обр. 03.02.2020).
- 2. Чекулдаева С.Р. Применение волновых устройств для повышения точности определения места однофазных замыканий на землю // Тенденции развития современной науки: сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого Государственного Технического Университета. В 2х ч. (часть 1) Липецк: ЛГТУ, 2020. с. 170-172.
- 3. Основные методы определения мест повреждения. [Электронный ресурс] Электрон. текстовые дан. Режим доступа: https://angstremip.ru/blog/osnovnye\_metody\_ opredeleniya mest povrezhdeniya omp/, свободный (дата обр. 10.02.2020).

# СЕКЦИЯ 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ В ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

# Алексеев М.В., Аистов В.С.

# ОЦЕНИВАНИЕ ДАЛЬНОСТИДО ЦЕЛИ С УПРАВЛЕНИЕМ ПО НЕВЯЗКЕ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

**Аннотация:** В статье рассмотрен алгоритм отслеживания беспилотных летательных аппаратов(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 растет опасность противоправного применения беспилотных летательных аппаратов. В связи с этим, встает вопрос контроля за движением БПЛА, например, в районе интенсивных полетов авиации. При измерении положения и скорости объекта постоянно возникают 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 [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, с учетом того, что наиболее подходящим первичным датчиком координат является импульсный радар в качестве модели было использовано уравнение равноускоренного движения. Но 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.

В этой статье 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 филь-

трами низких частот Баттерворта (ФНЧБ) с помощью компаратора.

С учетом этого предложена структура алгоритма оценивания дальности (рис. 1).

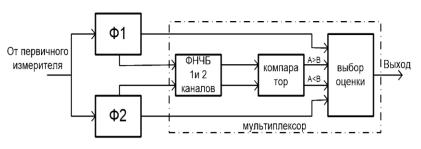


Рис.1. Структура алгоритма

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. Среднеквадратическая величина общей погрешности при этом для типовых условий работы снижается на 10...15% по сравнению с обычным фильтром.

### 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.
- 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. ПудовкинА.П., ПанасюкЮ.Н., ДаниловС.Н., MосквитинС.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

# Амелина В.И., Худякова А.Д.

# МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КВАДРАТУРНЫХ МЕТОДОВ ФМН

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов,

Аннотация. Построенамодель для исследования сравнительных характеристик квадратурных методов. 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. Вид модуляции сигналов определяет важнейшие показатели систем связи— помехоустойчивость и спектральная эффективность. Важным требованием к сигналам является возможность использования нелинейных трактов передатчиков без потери помехоустойчивости. Выполнение этих требований одновременно бывает труднодостижимо и часто приходится принимать компромиссные решения[1, с. 3].

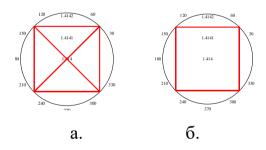


Рис. 1. а. Диаграмма для QPSK б. Диаграмма для OQPSK

При модуляции OQPSK переходы через ноль отсутствуют(рис.1). В результате максимальное изменение амплитуды передаваемого сигнала достигает величины в 3дБ [2, с. 138]. Это значительно меньше изменения амплитуды в сигналах QPSK. В результате достигается выигрыш по КПД усилителя мощности радиопере-

датчика. Спектральная эффективность при модуляции OQPSK такая же, как и при QPSK[3, c. 61].

В этой работе предложена модель QPSK-OQPSKмодулятора с основным дискретом  $\pi/2$ , созданная на основе пакета MathCad. Все импульсы входной последовательности модулятора разбиваются на пары – двухбитовые символы. При переходе от символа

к символу начальная фаза сигнала изменяется на величину, которая определяется битами символа[4, с. 378].

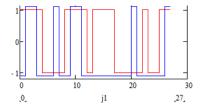


Рис. 2. Представление квадратур QPSK сигнала в модели

При QPSK модулирующий сигнал представляет собойпоследовательность четырёхпозиционных символов, выбираемых из алфавита с четырьмя двухразрядными двоичными словами (00, 01, 10, 11), которые определяют фазу модулированного колебания (рис. 2). Для формирования символов входной последовательный поток битов надо распределить на двасубпотока, в каждом из которых тактовая ча-

стота будет в два раза меньше, чем навходе.

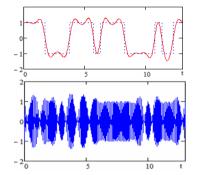


Рис. 3.Вверху - аналоговый сигнал OQPSK после «обкат-ки»; внизу высокочастотная реализация сигнала

Для OQPSK все возможные значения фазы радиосигнала кратны  $\pi/4$ , а максимальный скачок фазы равен  $135^0$ . 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. 3, вверху), а затем перенести его на высокую частоту (рис. 3, внизу)[5, с. 57].

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.

#### Список использованной литературы:

- 1. ПудовкинА.П., ПанасюкЮ.Н., ДаниловС.Н., МосквитинС.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.

- 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.
- 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.

# Букин $M.B.^{1}$ , Зырянов $IO.T.^{2}$

# К ВОПРОСУ ВЫБОРА МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

<sup>1</sup>Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Россия, Воронеж

<sup>2</sup>Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов

Аннотация: Предложен один из подходов, для оценки эффективности функционирования сложной системы основанный на выборе интегральных показателей (безразмерные величины, полученные в основном на основе аддитивной взвешенной свёртки).

**Ключевые слова:** информационно-управляющие системы, теория нечётких множеств, обобщённый показатель, множество частных показателей, весовая функция.

Распределённые информационно-управляющие системы (ИУС) к которым относятся системы управления полётами воздушных судов, как по назначению, так и по структуре относятся к классу сложных систем [1].

Всякое нарушение в работе ИУС ведёт к потере управления, что может привести к снижению качества, а в ряде случаев и к невыполнению поставленной задачи. Исходя из этого, задачу оценки эффективности функционирования ИУС следует признать актуальной.

Предложенная методика базируется на следующих основных принципах [2]:

- 1. Каждый показатель более высокого уровня является интегральным показателем от частных показателей более низкого уровня иерархии;
- 2. Возможно использование как количественных, так и качественных показателей эффективности;
- 3. Показатели эффективности могут быть как независимыми друг от друга, так и зависимыми;

В качестве метода построения интегральных и обобщённого показателей эффективности приняты метод аддитивной взвешенной свёртки и два его расширения, рассматриваемые в теории нечётких множеств.

Пусть  $\varepsilon$  - обобщённый показатель эффективности. Структура показателя  $\varepsilon$  такая, что  $\varepsilon = \left\{ \varepsilon^*, \underline{\varepsilon}, \varepsilon_* \right\}$ , где  $\varepsilon^*, \underline{\varepsilon}, \varepsilon_*$  соответственно верхняя, средняя и нижняя оценки обобщённого показателя  $\varepsilon$ . Далее, пусть  $X = \left\{ x_1, ..., x_n \right\}$  - полное конечное множество частных показателей эффективности изучаемого объекта, связанных с обобщённым показателем эффективности  $\varepsilon$ .

Для отражения различной важности частных показателей эффективности  $x \in X$  по отношению к обобщённому показателю  $\varepsilon$  используется понятие весовых коэффициентов w(x). То есть на множестве X определена весовая функция w такая, что

$$w: x \xrightarrow{w} [0,1], x \in X. \tag{1}$$

Выражением (1) формально представлен тот факт, что в элементарной задаче определения интегрального показателя эффективности  $\varepsilon$  используются частные показатели  $x \in X$  одного порядка важности. Трёхкомпонентная структура обобщённого показателя  $\varepsilon = \left\{ \varepsilon^*, \underline{\varepsilon}, \varepsilon_* \right\}$  обусловлена тем, что построение весовой функции w может быть обеспечено различными способами. Предлагается использование трёх различных мер множеств, а именно вероятностной меры, меры возможности и меры необходимости

#### Список использованной литературы

- 1. Железнов, И.Г. Сложные технические систем (оценка характеристик). М.: Высшая школа, 1984.-119 с.
- 2. Цвиркун А.Д., Акинфеев В.К., Филиппов В.А. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем. М.: Наука, 1985. 324 с.

# Ващенко $C.C.^{1}$

# ПРИМЕНЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ SURFER ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

 $^{1}$ ФГБОУ BO «Тамбовский государственный технический университет»

**Аннотация.** Рассматриваются аспекты практического применения системы Surfernpu моделировании геофизических процессов различной сложности.

Ключевые слова: карты, моделирование, система.

Система «Surfer», была создана компанией «GoldenSoftwareInc.», предназначена для построения растровых моделей на основе полученных данных в различных точках пространства и проведения последующего анализа полученных моделей. Система обширно используется длямоделирования различных поверхностей, анализа ландшафта, контурного картографирования, построения сетки, объемных измерений и многого другого.

В качестве основных элементов изображения в данном приложении используются следующие типы карт:[1]

- 1. Контурная карта.
- 2. Трехмерное изображение поверхности.
- 3. Карта исходных данных.
- 4. Карта-основа. Это может быть практически любое плоское изображение, полученное при переносе файлов разнообразных графических форматов: [.DXF], [.WMF], [.TIF], [.BMP], [.PCX], [.GIF], [.JPG] и других.

К примеру, можно создать структурную карту кровли пласта, добывающих и нагнетательных скважин. Зная данные расположения и глубины, мы можем смоделировать и наглядно увидеть расположение всех скважинна картес пластами изменения глубины кровли скважин, как показано на рис.1. Крестом обозначены нагнетательные скважины, а кружком добывающие. Синий штриховой линией выделена область, в которой находятся скважины с глубиной кровли менее 2716 м. Для простоты наблюдений данная область была закрашена жёлтым цветом. Данная карта позволяет удобнее работать с данными скважин, которые неравномерно разбросанных в пространстве.

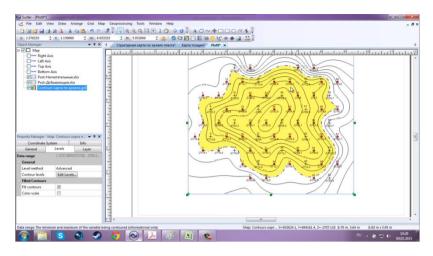


Рис. 1 Структурная карта по кровле пласта

Или же использовать данную систему для моделирования карты различной местности, основываясь на данных солнечной радиации. Используя значения радиации в координатах, взятых с определенным шагом, создать рельефную карту какой-либо области РФ.

Благодаря большому количеству разнообразного расположения и наложения разных карт можно не просто получить более подробную и структурированную информацию об объекте исследования, но и получить более обширное представление более сложных объектов.

#### Список использованной литературы

- 1. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer Воронеж , ВГУ 2008.-66 с.
- 2. Официальный сайт «GoldenSoftware» [Электронный ресурс]. URL: https://www.goldensoftware.com/// (дата обращения: 15.10.2020).
- 3. Савельев А.А., Мухарамова С.С., Пилюгин А.Г. Пространственный анализ в растровых геоинформационных системах: Учебно-методическое пособие / А.А. Савельев, С.С. Мухарамова, А.Г. Пилюгин. Казань: Казанский государственный университет, 2007. 30 с.

Гришин А.В., Горбунова А.Ю., Курепина Д. С, Овсянникова В.А

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОКРЫТИЯ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Исследовали результаты реализация серии из тридцати экспериментов (m=30) по определению теплопроводности акрилового покрытия на образцах из стали Ст3. Измерения осуществляли с помощью информационно-измерительной системы (ИИС) [1].

Метрологический эксперимент позволил выполнить оценку погрешности измерений и их характеристик [2].

Определены (таблица) погрешности конкретных результатов определения теплопроводности покрытия: математическое ожидание (систематическая погрешность), корень квадратный из дисперсии (средняя квадратическая погрешность). Здесь:  $t_{\alpha,m-1}$  — коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности  $\alpha=0.95$  и количестве измерений m-1, где m=30

Условия измерительного эксперимента: радиус нагревателя  $R=4\cdot$  мм; мощность на нагревателе W=1 Вт; временной шаг измерения температуры  $\Delta \tau = 0,25$  с; материал подложки ИЗ — рипор; толщина подложки ИЗ —  $20\cdot$ мм; толщина покрытия (h) из акриловой эмали —  $0,15\cdot$ мм [3].

При помощи характеристики – математическое ожидание погрешности – возможно получить информацию о постоянной составляющей погрешности, а также сформировать предпосылки для её исправления. Определяя характеристики случайной погрешности, можно получить представление об интенсивности случайной погрешности и соотнести полученную информацию с предъявляемыми требованиями. Установив связь средней квадратической погрешности с параметрами блоков измерительной цепи ИИС, определяются необходимые их значения. Из анализа представленных данных следует, что максимальные значения систематической погрешности и случайной составляющей погрешности соответствуют требованиям к точности теплофизических измерений.

Таблица. – Результаты метрологической обработки серии экспериментов

	Значение погрешно-	
Обозначение погрешности и характеристик по-	стей и их характери-	
грешностей измерений	стик	
Математическое ожидание абсолютной погрешно-		
сти определения теплопроводности:	0.002	
$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{m} A_i = \operatorname{Den}/(2\pi i K)$	0,002	
$M\left[\Delta\lambda_{j}\right] = \lim_{m\to\infty} \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} \Delta\lambda_{j},  \text{BT/(M·K)}$		
Средняя квадратическая погрешность абсолютной		
погрешности определения теплопроводности:	0,002	
$\sigma \left[ \Delta \lambda_{j} \right] = \left[ \lim_{m \to \infty} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \left( \Delta \lambda_{j} - M \left[ \Delta \lambda_{j} \right] \right)^{2} \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ BT/(M·K)}$		
$\left[ \begin{array}{c} O \left[ \Delta K_j \right] - \left[ \begin{array}{c} \min \\ m \to \infty \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \Delta K_j - W \left[ \Delta K_j \right] \end{array} \right] \right],  D W (W K)$		
Математическое ожидание относительной погреш-		
ности определения теплопроводности:	0,022	
$M^* \left[ \delta \lambda_j \right] = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \delta \lambda_j , BT/(M \cdot K)$	0,022	
$m \left[ \frac{\partial N_j}{\partial N_j} \right] = m \sum_{j=1}^{N} \frac{\partial N_j}{\partial N_j},  B = 1$		
Средняя квадратическая погрешность относитель-		
ной погрешности определения теплопроводности:	0.015	
$\begin{bmatrix} 1 & \frac{m}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$	0,017	
$\sigma^* \left[ \delta \lambda_j \right] = \left[ \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left( \delta \lambda_j - M^* \left[ \delta \lambda_j \right] \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, BT/(M \cdot K)$		
Предельная абсолютная погрешность определения		
теплопроводности:	0,030	
$\Delta_{\text{пред}} \lambda_j = M \left[ \Delta \lambda_j \right] + t_{\alpha, m-1} \sigma \left[ \Delta \lambda_j \right], \text{ BT/(M·K)}$		
Относительная погрешность определения тепло-		
проводности:	0,035	
$\delta_{ ext{npeg}} \lambda_j = rac{\Delta_{ ext{npeg}} \lambda_j}{\lambda_n}$	,·	
$\lambda_{\pi}$		

## Список использованной литературы:

- 1. Жуков, Н.П. Измерительно-вычислительная система неразрушающего контроля теплофизических свойств / Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова // Приборы и техника эксперимента . -2005, № 4.-С. 164-166.
- 2. Сергеев А.Г. Метрология / А.Г. Сергеев, В.В. Крохин. М.: Логос, 2001. 408 с.
- 3. Жуков Н.П., Майникова Н.Ф., Рогов И.В., Пудовкина Е.В. Многомодельный метод неразрушающего определения теплофизических свойств // Инженерно-физический журнал. 2012, Т. 85, № 1. С. 188 194.

Иванов А.В., Сурков О.В., Негуляева А.П.

# ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ И ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА ЗА СЧЕТ ИЗБЫТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

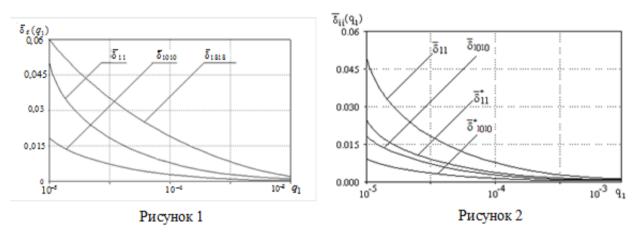
Тамбовский государственный технический университет

Введение. Методами марковской теории оптимального оценивания в работах [1–4]были получены оптимальные и квазиоптимальные комплексные адаптивные алгоритмы обработки информации в навигационных комплексах наземных подвижных объектов (ПНО). Отличительной особенностью разработанных алгоритмов от всех известных, является возможность решать задачу оценивания навигационных данных (координат местоположения объекта, параметров движения объекта) совместно с обнаружением радиосигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС) на входе приемного устройства и контролем целостности навигационных данных СРНС.

Оценка точности. Качественная оценка характеристик точности определения координат местоположения и параметров движения подвижного наземного объекта, а также помехоустойчивости синтезированных алгоритмов была выполнена на основе численного решения уравнений Рикатти. Расчеты показали, что разработанный навигационный комплекс обладает высокими характеристиками точности, среднеквадратическое значение ошибки определения радиальной погрешности определения координат местоположения ПНО составляет значение  $\sigma_{\scriptscriptstyle D}=0.11 {\rm M}$ . Для оценки помехоустойчивости синтезированных алгоритмов были определены значения установившиеся значения апостериорных дисперсий ошибок оценивания для различных отношений сигнал/шум. На рисунке 1 представлены некоторые результаты расчетов, а именно: зависимости установившихся значений относительных апостериорных дисперсий ошибок оценивания широты  $\phi$  ( $\overline{\delta}_{11}$ ), фазы сигнала СРНС  $\psi$  ( $\overline{\delta}_{1010}$ ) и постоянного сдвига по дальности  $\delta d$  ( $\overline{\delta}_{1818}$ ) от одинакового для всех каналов СРНС от отношения сигнал/шум  $q_1$ .

Из приведенных на рисунке 1 графиков следует, что помехоустойчивость синтезированных алгоритмов достаточно высока в широком диапазоне изменений отношения сигнал/помеха ( $10^{-5}\langle q_1\langle 10^{-3}\rangle$ ), охватывающем реально возможные значения для СРНС.

Развертывание и ввод в эксплуатацию СРНС типов ГЛОНАСС и GPS позволило создать объединенное радионавигационное поле, при работе в котором в зоне видимости возможно наблюдение до 21 спутника. С целью повышения точности и помехозащищенности был рассмотрен вопрос одновременной обработки информации от восьми спутников, входящих в состав СРНС. Результаты расчетов приведены на рисунке 2, где показаны зависимости установившихся значений относительных апостериорных дисперсий ошибок оценивания широты  $\varphi$  ( $\overline{\delta}_{11} = \overline{k}_{11} / k_{11}(t_0)$ ) и фазы  $\psi$  ( $\overline{\delta}_{66} = \overline{k}_{66} / k_{66}(t_0)$ ) сигнала СРНС от одинакового для всех каналов СРНС отношения сигнал/шум  $q_1$  для четырех  $\overline{\delta}_{11}$ ,  $\overline{\delta}_{66}$  и восьми  $\overline{\delta}_{11}^*$ ,  $\overline{\delta}_{66}^*$  навигационных спутников СРНС.



Из приведенных на рисунке 2 зависимостей следует, что использование информационной избыточности обеспечивает повышение точности и помехоустойчивости синтезированных алгоритмов.

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

#### Список использованной литературы

 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.

- 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.

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

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСЛОЙНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Разрешающая способность метода реконструкции электрофизических и геометрических параметров многослойных диэлектрических покрытий, с использованием поверхностных электромагнитных волн СВЧ диапазона определяется слоем с наименьшей электрической толщиной [1].

Для однослойного покрытия метод реконструкции ЭФГП сводится к минимизации целевой функции, построенной по невязке между полученными экспериментально  $\alpha_{_{3}}(f,\,\varepsilon,b)$  и вычисленными теоретически значениями  $\alpha_{_{\rm T}}(f_{_{\rm K}},\,\varepsilon,b)$  коэффициентов ослабления поля на частотах  $f_{k},\,k=1,\,2,\,...,\,K$ :

$$\varepsilon, b = \underset{\varepsilon, b \in \varepsilon_{\text{non}}, b_{\text{non}}}{\min} \rho(\varepsilon, b) = \sum_{k=1}^{K} \left| \left[ \alpha_{9}(f_{k}, \varepsilon, b) - \alpha_{T}(f_{k}, \varepsilon, b) \right] / \alpha_{T}(f_{k}, \varepsilon, b) \right|^{2}, \tag{1}$$

где  $\rho(\varepsilon,b)$  — расстояние между значениями  $\alpha_{_{9}}(f,\varepsilon,b)$  и  $\alpha_{_{T}}(f_{_{K}},\varepsilon,b)$  в области допустимых значений  $\varepsilon,b\in\varepsilon_{_{\text{доп}}},b_{_{\text{доп}}}$ .,  $\varepsilon,b$  — относительная диэлектрическая проницаемость и толщина покрытия.

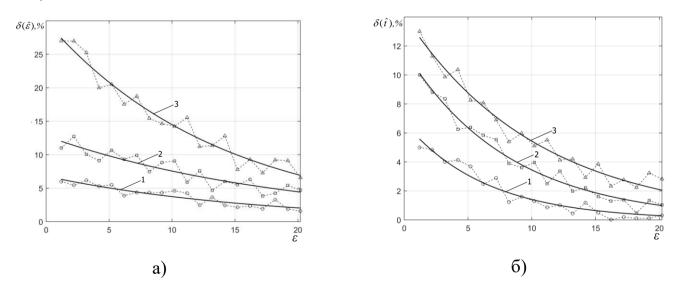
При численном моделировании и обработке результатов реальных экспериментов теоретические значения коэффициента ослабления для целевой функции (1) определяли на основе решения дисперсионного уравнения для однослойного диэлектрического покрытия. Использовали следующий вид дисперсионного уравнения [1]:

$$D[\alpha_{\tau}(f_k, \varepsilon, b); f] \equiv \dot{Z}(1, 0) = 0, \tag{2}$$

где  $\ddot{Z}(1,0) = Z_1 \frac{Z_0 + jZ_1 tg(qt)}{Z_1 + jZ_0 tg(qt)}$  — эквивалентное характеристическое сопротивление

слоя покрытия и области над покрытием;  $Z_0 = -j\,\alpha_{_3}(f_{_k},\varepsilon,b)/(\omega\varepsilon_0)$  — характеристическое сопротивление на границе между слоем диэлектрика и свободным пространством;  $\omega=2\pi f$  — круговая частота;  $\varepsilon_0$  — диэлектрическая постоянная;  $Z_1 = q/(\omega\varepsilon_0\varepsilon)$  — характеристическое сопротивление слоя покрытия;  $q = \sqrt{k^2 - k_0^2 - \alpha_{_T}^2(f_{_k},\xi) + \beta^2}$  — поперечное волновое число в слое покрытия;  $k_0 = 2\pi/\lambda$ ,  $k = 2\pi\sqrt{\varepsilon}/\lambda$  — волновые числа соответственно свободного пространства и слоя покрытия;  $\beta = mp/d$  — поперечное волновое число, характеризующее распределение поля поверхностной медленной электромагнитной волны по ширине d покрытия.

На рисунке 1 представлены зависимости средней относительной погрешности оценки диэлектрической проницаемости  $\delta(\hat{\varepsilon})$  и толщины  $\delta(\hat{t})$  однослойного покрытия толщиной t=1 мм от его диэлектрической проницаемости, при фиксированных значениях СКО шума  $\sigma$ =0,001 (I); 0,003 (2); 0,005 (3).



а) оценка погрешности диэлектрической проницаемости  $\delta(\hat{\varepsilon})$ ;

б) оценка погрешности толщины  $\delta(\hat{t})$ 

Рисунок 1 — Зависимости средней относительной погрешности оценки ЭФГП однослойного диэлектрического покрытия при фиксированных значениях СКО ( $\sigma$ ) шума

По результатам имитационного моделирования получили оценки диэлектрической проницаемости и толщины однослойного покрытия при СКО уровня шума σ=0,003 во

всём диапазоне исследуемых значений диэлектрической проницаемости ( $\varepsilon$ =1,2-20) с погрешностью не более 10% при доверительной вероятности 0,95.

## Список использованной литературы

 Казьмин, А.И. Восстановление структуры электрофизических параметров многослойных диэлектрических материалов и покрытий по частотной зависимости коэффициента ослабления поля поверхностной электромагнитной волны / А.И. Казьмин, П.А. Федюнин // Измерительная техника. – 2019. – № 9. – С. 39–45.

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

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕЖСЛОЙНЫХ ДЕФЕКТОВ В МНОГОСЛОЙНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЯХ СВЧ МЕТОДОМ

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Представлены результаты исследования по оценке точности высот протяженных межслойных дефектов в трехслойном диэлектрическом покрытии «полиметилметакрилат-фторопласт Ф-4Д-полутвердая резина», реконструированных многочастотным методом поверхностных электромагнитных волн (ПЭМВ).

В ходе натурного эксперимента в покрытие при помощи плоскопараллельных концевых мер длины были внесены 3 протяженных дефекта: «отслоение» с величиной  $d_1 = 0.3$  мм; «расслоение» между 1 и 2 слоями с величиной  $d_2 = 0.3$  мм и «расслоение» между 2 и 3 слоями с величиной  $d_3 = 0.25$  мм.

Измерения коэффициента ослабления поля ПЭМВ  $\alpha(f,\xi_{II},\xi_{o})$ , где  $\xi_{II} = \{\varepsilon_{i},\varepsilon_{i+1},...,\varepsilon_{N};b_{i},b_{i+1},....,b_{N}\}$  вектор электрофизических параметров,  $\varepsilon_{i},b_{i}$  — относительные диэлектрические проницаемости и толщины і-го слоя, N — количество слоев покрытия,  $\xi_{o} = \{d_{s},d_{s+1},....,d_{M}\}$  вектор геометрических параметров (толщин) дефектов,  $d_{s}$  — толщина s-го дефекта, M — количество «слоев» дефектов, проводились в диапазоне частот 10—11 ГГц с шагом по частоте 0,1 ГГц (количество частот N=10). Толщина слоев составляла: полиметилметакрилат  $b_{1}$  = 1,8 мм, фторопласт Ф-4Д —  $b_{2}$  = 3 мм и полутвердая резина —  $b_{3}$  = 1 мм.

В ходе экспериментов сканирование исследуемой области трехслойного диэлектрического покрытия производилось при помощи разработанного измерительного комплекса [1]. В результате исследований образца трехслойного диэлектрического покрытия, были получены исходные экспериментальные значения коэффициентов ослабления поля ПМЭМВ  $\alpha(f, \underline{\xi}_H, \underline{\xi}_o)$ .

Экспериментальное распределение коэффициентов ослабления  $\alpha(f, \underline{\xi}_{\Pi}, \underline{\xi}_{\partial})$  поля ПЭМВ по сканируемой области для исследуемого образца трехслойного диэлектриче-

ского покрытия с дефектами для частоты  $f = 10\,\Gamma Tu$  приведены на контурном графике на рисунке 1а. Видно, что в области трехслойного покрытия без дефектов коэффициенты ослабления  $\alpha(f, \xi_H, \xi_{\partial})$  поля ПЭМВ в пределах области сканирования покрытия имеют среднее значение порядка  $160~{\rm M}^{-1}$ , а в области с дефектами типа «отслоение» и «расслоение» наблюдается уменьшение их значений до средней величины порядка  $150~{\rm M}^{-1}$ , что подтверждает теоретические исследования.

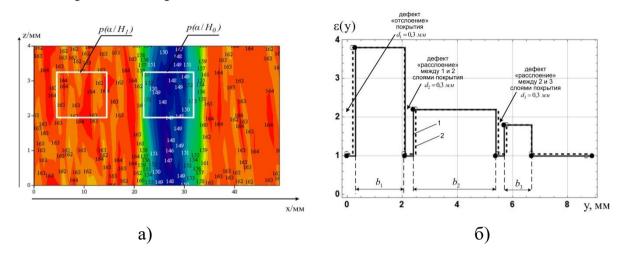


Рисунок 1 – Распределение коэффициентов ослабления поля ПЭМВ

При вероятности ложной тревоги  $P_{nr}$ =0,01 вероятность правильного обнаружения протяженных дефектов типа «отслоение» и «расслоение», рассчитанная на основе критерия Неймана-Пирсона составила  $P_{no}$ =0,96. Следует отметить, что в данном случае получается обобщенная вероятность с учетом одновременного влияния всех 3 дефектов. После того, как область с дефектами обнаружена, производилось решение обратной задачи по реконструкции параметров дефектов (толщин) в поперечном направлении [1].

На рисунке 16 представлен теоретический профиль исследуемого трехслойного покрытия с 3 протяженными дефектами, по нормали вверх от металлической подложки, и полученный путем решения обратной задачи по экспериментальной зависимости коэффициента ослабления поля ПЭМВ. Анализ экспериментальных данных показал, что относительная погрешность реконструкции геометрических параметров (толщин) дефектов не превышает 10 %.

#### Список использованной литературы

 Казьмин, А.И. Контроль дефектов в многослойных диэлектрических материалах СВЧметодом / А.И. Казьмин, П.А. Федюнин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2020. – Том 86. – № 2. – С. 37–43. Майникова Н.Ф., Гришин А.В., Горбунова А.Ю., Иванов О.О.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Метрологический эксперимент позволяет сделать оценку погрешности измерений и их характеристик. Реализация метрологического эксперимента осуществлялась измерительной системой (ИС) на двухслойных образцах из стали Ст3 с акриловым покрытием. Были определены погрешности конкретных результатов определения толщины покрытия: математическое ожидание (систематическая погрешность), корень квадратный из дисперсии (средняя квадратическая погрешность), доверительный интервал и доверительная вероятность [1].

Математическое ожидание ( $M \Big[ \Delta h_j \Big]$ ) и средняя квадратическая погрешность (  $\sigma \Big[ \Delta h_j \Big]$ ) абсолютной погрешности определения толщины (h) покрытия:

$$M\left[\Delta h_{j}\right] = \lim_{m \to \infty} \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} \Delta h_{j}, \qquad \sigma\left[\Delta h_{j}\right] = \left[\lim_{m \to \infty} \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} \left(\Delta h_{j} - M\left[\Delta h_{j}\right]\right)^{2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

где m = 30 — число проведенных измерительных экспериментов.

Характеристики относительной погрешности  $(M^* \left[\delta h_j\right], \, \sigma^* \left[\delta h_j\right])$  :

$$M^* \left[ \delta h_j \right] = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \delta h_j ; \quad \sigma^* \left[ \delta h_j \right] = \left[ \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left( \delta h_j - M^* \left[ \delta h_j \right] \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Предельные абсолютные (  $\Delta_{\text{пред}} h_j$  ) и относительные погрешности (  $\delta_{\text{пред}} h_j$  ):

$$\Delta_{\mathrm{пред}} h_j = M \Big[ \Delta h_j \, \Big] + t_{a,m-1} \sigma \Big[ \Delta h_j \, \Big]; \qquad \delta_{\mathrm{пред}} h_j = rac{\Delta_{\mathrm{пред}} h_j}{h_a} \, .$$

где  $t_{\alpha,m-1}$  — коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности  $\alpha=0,95$  и количестве измерений m-1.

Условия опыта: радиус нагревателя  $R=4\cdot$  мм; мощность на нагревателе W=1 Вт; временной шаг измерения температуры  $\Delta \tau = 0.25$  с; материал подложки ИЗ — рипор; толщина подложки ИЗ —  $20\cdot$ мм; толщина покрытия (h) из акриловой эмали —  $0.15\cdot$ мм [2].

Таблица. – Результаты метрологической обработки эксперимента

Обозначение погрешности и ха-	Значение погрешностей измере-		
рактеристик погрешностей изме-	ний и их характеристик		
рений			
$M[\Delta h_j]$ , MM	0,0027		
$\sigma[\Delta h_j]$ , MM	0,0014		
$M^*[\delta h_j], MM$	0,0182		
$\sigma^* [\delta h_j], MM$	0,0094		
$\Delta_{ ext{пред}} h_j$ , MM	0,0187		
$\delta_{ ext{пред}}h_j$	0,1249		

При помощи характеристики — математическое ожидание погрешности — возможно получить информацию о постоянной составляющей погрешности, а также сформировать предпосылки для её исправления.

Определяя характеристики случайной погрешности, можно получить представление об интенсивности случайной погрешности и соотнести полученную информацию с предъявляемыми требованиями. Установив связь средней квадратической погрешности с параметрами блоков измерительной цепи ИС, определяются необходимые их значения.

### Список использованной литературы:

- 1. Сергеев А.Г. Метрология / А.Г. Сергеев, В.В. Крохин. М.: Логос, 2001. 408 с.
- 2. <u>Определение толщины теплозащитного покрытия на изделии из стали</u> Н.Ф. Майникова, А.Ю. Ярмизина, О.Е. Богометова, В.А. Овсянникова. Энергосбережение и эффективность в технических системах: Материалы VI Международной научнотехнической конференции. 2019. С. 198 199.

Майникова Н.Ф., Гришин А.В., Горбунова А.Ю., Иванов О.О.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ТЕПЛОВЫМ НЕРАЗРУШАЮЩИМ СПОСОБОМ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Согласно используемым физическим явлениям различают акустический, вихретоковый, магнитный, радиоволновый, оптический, тепловой, электрический и другие виды неразрушающего контроля. Поскольку полимеры используются для изготовления теплоизоляционных покрытий и часто возникает необходимость создания теплозащиты, работающей в пиковых, т.е. кратковременных условиях нагрева, то определение теплопроводности полимерного слоя изделия неразрушающим способом — актуально. Для тепловых расчетов двухслойных объектов наиболее подходят аналитические и приближенные аналитические решения. Основные физические свойства среды, как правило, представлены в них в явном виде. Приближенные решения достаточно упрощены, но имеют аналитическую форму и наиболее приспособлены для использования их в инженерной практике [1].

Разработан способ, который с помощью упрощённой математической модели теплового процесса, позволяет получить при известной толщине покрытия информацию для расчета теплопроводности за один эксперимент. Рассматривается математическая модель теплопереноса, реализующая режим регуляризация теплового процесса для локальной области исследуемого двухслойного объекта, представляющего собой металлическое изделие с низкотеплопроводным покрытием [2-4].

Расчётное выражение имеет вид:

$$\lambda_1 = \frac{q \cdot h_1}{b_0},$$

где  $h_1$  – толщина покрытия, м; q – тепловой поток, подводимый зондом к свободной поверхности объекта,  $B\tau/m^2$ ;  $b_0$  – коэффициент модели (определяют экспериментально по термограмме – отклику на тепловое воздействие), К [3].

Использована измерительная система, в состав которой входит выносной измерительный зонд (ИЗ). Зонд устанавливали на поверхность двухслойного тела. Нагреватель в виде тонкого диска встроен в подложку ИЗ [2].

Покрытие подвергалось воздействию тепла с постоянной мощностью на небольшом локальном участке поверхности. В таблице представлены результаты сравнения значений теплопроводности покрытия на стали Ст20 по разработанной модели ( $\lambda_1$ ) с известными значениями ( $\lambda_1$ ) для эмали ВДЭП Р-270 «ЕРОХ». Мощность теплового воздействия для экспериментов N = 1 различна.

Таблица

№ экспери- мента	λ <sub>1и</sub> , Вт/(м·К)	$b_0$	$\lambda_1$ , $B_T/(M \cdot K)$	$\delta = \left  \frac{\lambda_{_{1\text{\tiny M}}} - \lambda_{_{1}}}{\lambda_{_{1_{\text{\tiny M}}}}} \right , \%$
1	0,13	43,53	0,128	5,4
2	0,13	48,42	0,131	4,8
3	0,13	53,26	0,133	3,8

Экспериментальная проверка показала, что погрешность определения теплопроводности покрытия – до 6% (рекомендовано не более 10%).

### Список использованной литературы:

- 1. Кудинов В.А. Аналитические решения задач тепломассопереноса и термоупругости для многослойных конструкций / Кудинов В.А., Карташов Э.М., Калашников В.В. М.: Высшая школа. 2005. 430 с.
- 2. Жуков Н.П. Измерительно-вычислительная система неразрушающего контроля теплофизических свойств / Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова // Приборы и техника эксперимента. 2005. №4 С.164—166.
- 3. Теоретическое обоснование теплового метода неразрушающего контроля двухслойных изделий / И.В. Рогов, Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова, Н.В. Лунева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. №9 (23) С. 93–99.
- 4. Modeling of the process of heat transfer from a plane heat source of constant strength in thermophysical measurements / Zhukov N.P., Mainikova N.F., Rogov I.V., Pudovkina E.V // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2012. –Volume 85. №1. C. 203–209.

#### Маслина В.В.

# РЕКОНФИГУРИРУЕМАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ АНТЕННЫ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

ФГБОУ ВО «Тамбовскийгосударственныйтехническийуниверситет»

**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

В диапазонах частот спутниковых систем связи, влияние атмосферы проявляется в виде ослабления сигнала, искривления траектории радиолуча и т.п. Это приводит к тому, что спутник постоянно выходит из максимума диаграммы направленности. Такие блуждания имеют случайный характер.

Принято, что отклонение луча от направления на ИСЗ не должно превышать десятой доли ширины диаграммы направленности (ДН) по уровню 3 дБ. Очевидно, что для коррекции положения луча необходимо осуществлять пеленгацию ИСЗ с высокой точностью[1].

Сегмент управления должен содержать зеркальную антенну, отслеживающую траекторию спутника. Угловые скорости при поворотах антенны зависят от высоты орбиты [2]. На данный момент существует множество методов для улучшения качества связи, но этого зачастую недостаточно, чтобы обеспечить сигнал высокого уровня. Поэтому необходима разработка алгоритмов, обеспечивающих достаточно точное управление антенной СС. Известно, что при проведении синтеза следящей системы в пространстве состояний необходимо обеспечить измерение хотя первых производных оцениваемых координат[3-6]. Ho чтобы обеспечить высокую точность необходимо иметь соответствующие датчики, в том числе и датчики собственного движения антенны. Особенно это важно для мобильных приемников, раположенных на морском судне, автомобиле, поезде и т.п. В качестве датчика собственного движения рассмотрен датчик

угловой скорости(ДУС). В результате моделирования работы алгоритма и 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. Цель такого эксперимента — с одной стороны, оценить целесообразность включения в систему ДУС. С другой стороны, получить оценку целесообразности установки такого угломера на дорогостоящую гироскопическую платформу. В результате исследования было установлено, что наличие ДУС способно снизить погрешность примерно в два раза.

# Список использованной литературы:

- 1. ПудовкинА.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.
- 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.
- Иванов, А.В. Комплексная система межсамолетной навигации на основе спутниковых радионавигационных систем / А.В. Иванов // Успехи современной радиоэлектроники. – 2008. . – № 11.
- 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.

Работа выполнена под руководством д.т.н., профессора С.Н. Данилова

Мжельский А.А., Панасюк Ю.Н.

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДАЛЬНОСТИ СО СЛУЧАЙНОЙ СТРУКТУРОЙ ПРИ ТРАЕКТОРНОЙ ОБРАБОТКЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

**Аннотация:** предложен алгоритм функционирования измерителя дальности на основе моделей со случайной структурой. Обоснован выбор моделей состояния и наблюдения, проведено компьютерное моделирование и получены результаты моделирования алгоритма функционирования измерителя дальности.

**Ключевые слова:** измеритель дальности, модели со случайной скачкообразной структурой, модель состояния, модель наблюдения.

Актуальной задачей обработки информации является синтез оптимальных алгоритмов оценивания стохастических процессов со скачкообразно меняющейся в случайные моменты времени структурой. Алгоритмы сопровождения с учетом теории систем со случайной скачкообразной структурой позволяет производить обработку информации с использованием нескольких моделей для совместной оценки фазовых координат воздушных судов [1, 2, 3].

Разработанный алгоритм представляет собой двухмерный и трёхмерный фильтры с дальнейшей совместной оценкой дальности, основанный на выражениях калмановской фильтрации.

Алгоритм функционирования первого фильтра для оценки дальности, скорости и ускорения по линии визирования:

$$V_{o1}(k+1) = V_{o1}(k+1) + K_{v21}(k+1)\Delta V_{1}(k+1);$$
(2)

$$a_{o1}(k+1) = a_{o}(k+1) + K_{y31}(k+1)\Delta \Pi_{1}(k+1);$$
(3)

$$\Pi_{a1}(k+1) = \Pi_{a1}(k) + V_{a1}(k)\tau + 0.5a_{a}(k)\tau^{2};$$
(4)

$$V_{a1}(k+1) = V_{a1}(k) + a_{a}(k)\tau; (5)$$

$$a_{a}(k+1) = (1 - \alpha_{b}\tau)a_{a}(k);$$
 (6)

$$\Delta \mathcal{I}_{1}(k+1) = \mathcal{I}_{u}(k+1) - \mathcal{I}_{21}(k+1); \tag{7}$$

Алгоритм функционирования второго фильтра для оценки дальности и скорости:

$$\underline{\Pi}_{02}(k+1) = \underline{\Pi}_{22}(k+1) + K_{v11}(k+1)\Delta\underline{\Pi}_{2}(k+1);$$
(8)

$$V_{o2}(k+1) = V_{o2}(k+1) + K_{v21}(k+1)\Delta V_2(k+1);$$
(9)

$$\Pi_{2}(k+1) = \Pi_{2}(k) + V_{2}(k)\tau;$$
(10)

$$V_{2}(k+1) = (1 - \alpha_{b}\tau)V_{2}(k); \tag{11}$$

$$\Delta \Pi_{2}(k+1) = \Pi_{2}(k+1) - \Pi_{2}(k+1). \tag{12}$$

Модель системы для совместной оценки дальности воздушного судна по линии визирования со случайной скачкообразной структурой при использовании двух моделей

$$\Pi_{o}(k) = \sum_{m=1}^{2} W_{m}(k-1)\Pi_{om}(k-1), m = 1,2,$$
(22)

где  $W_m$  – весовые коэффициенты оценок фильтрации 1 и 2 фильтров.

Таким образом, разработан алгоритм совместной обработки информации от двухмерного и трёхмерного фильтров, который позволит получить лучшие точностные характеристики измерителя дальности по сравнению с классическими фильтрами.

#### Список использованной литературы

- 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.

Ряхов Б.Т., Хворов Р.А., Безрядин В.А.

## ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СИСТЕМАХ СВЯЗИ

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

В интересах формирования основных направлений совершенствования контроля безопасности информационного обмена необходимо разработать соответствующий методический подход, базирующийся на обосновании целевой функции контроля безопасности.

Контроля безопасности является многофакторным процессом, поэтому в качестве показателей целесообразно принять как целевые, так и функциональные показатели, исходя из чего задача оценки эффективности РК является многокритериальной [1].

Одним из способов решения задачи при наличии нескольких показателей является введение составного показателя. Способом работы с таким показателем является формирование одного в виде суммы частных с учетом весового коэффициента каждого из них, то есть в виде взвешенной суммы нормированных значений вектора показателей.

Так, если есть частные показатели  $W_I,\ W_2\ ...\ W_n$  , то формируется единый показатель вида:

$$W = a_1 W_1 + a_2 W_2 + K + a_n W_n, (1)$$

где  $\alpha_1$ ,.  $\alpha_2$ ,... $\alpha_n$ — весовые коэффициенты (или коэффициенты важности), сумма которых равна 1.

Показатель такого вида часто называют целевой функцией, т.е. функцией, характеризующей качество достижения цели мероприятия [2].

Поскольку каждый из частных показателей отражает разные и нередко противоречивые значения (например, затраты ресурсов, которые желательно уменьшить, или потенциал обеспечения, который необходимо повысить), имеющие свою размерность, обобщенный показатель W может не иметь ясно выраженного физического смысла. Его

следует рассматривать лишь как меру предпочтительности. Вес может быть установлен, как правило, экспертным путем.

В качестве внешнего и, соответственно, приоритетного показателя эффективности контроля безопасности информационного обмена целесообразно определить показатель предотвращенного ущерба за счет утечки информации, представляющей интерес для противника, по всем i—м каналам связи:

$$W_{yu}^{(np)} = \sum_{i=1}^{N} w_{yu_i i}$$
 (2)

Необходимость введения такого показателя определяется тем, что контроль безопасности информационного обмена является специфической формой защиты информации от ее утечки по каналам связи. При этом для данного показателя целесообразно определить максимальное значение предотвращенного ущерба  $\max_{y_{ij}} \{W_{y_{ij}}^{(np)}\}$  за счет утечки по всем i—му каналу связи. По сути это и есть целевая функция контроля безопасности информационного обмена.

В результате принятия мер по исключению или снижению вероятности вскрытия смысловой информации, представляющей интерес для противника, по i–му каналу связи, происходит предотвращение потенциального ущерба  $w_{yu_ii}^{(nom)}$ , который может быть нанесен в результате утечки информации.

Значение  $w_{yu_i}^{(nom)}$  можно определить, как:

$$w_{yu_i}^{(nom)} = w_{yu_i} H_i^{(HODM)}, \tag{3}$$

где  $w_{yu,i}$  — максимальный ущерб, который может быть нанесен за счет утечки информации по i-му каналу;  $H_i^{(nop,m)}$  — нормированный коэффициент информативности i—го канала связи.

В соответствии с приведенными расчетными соотношениями можно сделать вывод о том, что величина предотвращенного ущерба зависит как от значения информативности канала связи, так и от их количества, в отношении которых по результатам контроля безопасности проводятся меры по снижению возможности вскрытия информации, представляющей интерес для противника.

Функциональные (внутренние) показатели эффективности контроля безопасности информационного обмена определялись с учетом показателей, традиционно используемых для оценки качества контроля. Такими показателями традиционно считаются [3]:

С учетом приведенных частных показателей эффективности контроля безопасности, а так же их критериев, соотношение для расчета общего показателя эффективности контроля безопасности связи, принимает следующий вид:

оперативность  $(O_{\kappa})$ , полнота  $(\Pi_{\kappa})$  и достоверность  $(\mathcal{A}_{\kappa})$  контроля.

$$W_{p\kappa} = k_1 W_{yu}^{(nped)} + k_2 O_{p\kappa} + k_3 \Pi_{p\kappa} + k_4 \mathcal{A}_{p\kappa}.$$
(4)

Таким образом, обоснованная целевая функция контроля безопасности информационного обмена позволит сформировать его основные направления совершенствования, а так же учесть ограничения на затраты по его совершенствованию.

#### Список использованной литературы

- 1. Жуков Г.П., Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ и исследование операций. М. Воениздат, 1987. 80 с.
- 2. Дегтярев Ю. И. Методы оптимизации. М: Сов.радио, 1980. 272 с.
- 3. Технический контроль в машиностроении: Справочник проектировщика / Под общ. Ред. В.Н. Чупырина, А.Д.Никифорова. М: Машиностроение, 1987. 512 с.

Сарычев Р.А.  $^{1}$ , Хребтов А.Р.  $^{1}$ 

# СОВМЕСТНАЯ ВТОРИЧНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ ВОЗДУШНОГО СУДНА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

**Аннотация:** в данной работе рассмотрен вопрос повышения точности измерения угловых координат благодаря использованию совместной обработки информации от двух РЛС с устройствами обработки информации, основанными на разных математических моделях.

Ключевые слова: точность, измерение, фильтр, воздушное судно, АС УВД.

Точность измерения угловых координат целей является одним из важнейших требований, которое предъявляется к радиолокационным системам (РЛС) различного назначения. Точность измерения углов зависит как от внутренних методов обработки сигнала, так и от внешних условий, например, из-за изменений давления воздуха, что влияет на измерение угла места и азимута, вызывая возникновение случайной ошибки измерения. Однако более частые источники возникновения систематических ошибок определяются внутренними факторами.

Целесообразность повышения точности измерения угловых координат определяется взаимосвязью между показателями качества результатов первичных измерений и вторичной обработки полученной информации. Наилучшая точность измерения угловых координат на данный момент достигается при использовании метода конического сканирования и при моноимпульсной пеленгации[1].

Наряду с точностью важно следить и за достоверностью измерения, повышение которой приводит к уменьшению вероятности ложного захвата цели по боковому лепестку, что уменьшает вероятность перепутать траекторию сопровождаемой цели с траекториями близко расположенных целей.

Целью работы — повышение точности определения координат маневрирующей цели. Для этого предполагается использовать совместное измерение угловых координат двумя РЛС с фильтрующими устройствами, основанными на различных математических моделях.

Измерение угловых координат моноимпульсным методом при помощи одной РЛС показано на рисунке 1. цель

В данном случае в качестве устройства, производящего вторичную обработку информации используется фильтр Калмана, построенных на основе 3-х мерной модели.

Приизмерений одной РЛС и выполнении

целью сложных резких маневров возрастает ошибка измерения. Для минимизации данного вида ошибок предполагается использование

При помощи двух РЛС разнесенных в пространстве можно реализовать метод измерения, показанный на рисунке 2.

дополнительной РЛС.

В отличие от первого метода, здесь будет использованы две РЛС с разными установленными фильтрами. Один из них так же, как и в первом методе будет основан на 3-х мерной модели, а во втором будет

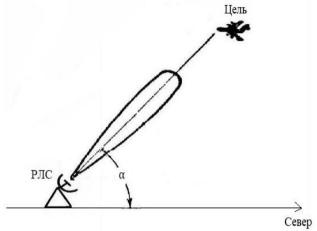


Рис.1 Метод измерения с помощью одной РЛС

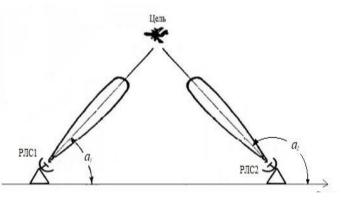


Рис.2 Метод измерения при помощи двух разнесенных в пространстве РЛС

применен фильтр, основанный уже на 2-х мерной модели. В одной и той же точке пространства для двух РЛС цель будет вести себя по-разному, то есть будут разниться результаты первичного измерения, а также будут отличаться законы изменения траектории движения. В результате вторичной обработки с выходов обоих фильтров будут получены невязки, разность которых позволит оценить точность, а также производить дальнейшую экстраполяцию.

Таким образом, применение дополнительного 2-х мерного фильтра Калмана позволит нивелировать ошибки, связанные с резким маневрированием целей. Недостатком

данного метода повышения точности измерения угловых координат цели состоит в том, что требуется тригонометрическое преобразование полученного измерения от РЛС-2.

#### Список использованных 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.

#### Сергеева Н.А.

### ПОТОКОВЫЙ АНАЛИЗ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ

#### МГТУ им. Н.Э. Баумана

Моделирование сложных технических систем (TC), их современных конструкций и технологий электронной аппаратуры (ЭА), можно проводить на микро-, макро- и мета-уровне, отличающихся степенью обобщения абстрактной модели TC.

Моделирование на микроуровне проводят тогда, когда в ТС важным является учет весьма ограниченного числа физических явлений, чаще всего это один физический эффект. Моделирование на макроуровне применяют в тех случаях, когда в ТС для функционирования использовано несколько различных технических полей, например, механического, электрического, магнитного и т.п. Моделирование на метауровне предполагает построение обобщенной универсальной модели ТС. Для исследования проблем в сложных технических системах в ряде случаев применяется когнитивный инструмент, известный как потоковый анализ (ПА). Потоковый анализ представляет реализацию одного из двух присущих человеку способа построения когнитивной карты – операционного мышления (в отличие от предметного). Он предполагает последовательное рассмотрение вида и состояния потока на всем его протяжении от начала до конца (или его части) как процесса, как последовательности операций. В соответствии с современными взглядами, потоки могут быть трех видов: потоки вещества, потоки энергии и потоки информации. Технические системы обрабатывают один из этих потоков или их комбинации. Потоковый анализ – это форма обобщающей абстракции, применимая для построения моделей и решения задач в самых разных областях техники и технологий. Представленный подход является методически оправданным, так как обобщение и абстрагирование применяются в процессе формирования понятий, при переходе от представлений к понятиям.

Потоковые схемы являются универсальными, общими для многих сложных технических систем включая конструкции и технологии электронной аппаратуры. На основе имеющегося опыта предложена классификация понятий потокового анализа систем. Рассматриваются вопросы применения потокового анализа при решении задачи обеспечения работоспособности бортовой аппаратуры при спецвоздействиях.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-29-18043.

#### Сорока Е.П.\*, Стафеев М.А.\*\*

#### ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА РАДИОСВЯЗИ С ЭКИПАЖАМИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ МОРСКОЙ АВИАЦИИ

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Жуковского Н.Е. и Гагарина Ю.А.», Россия, Воронеж,

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.

Данная система предполагает развертывание наземных приемо-передающих радиоцентров включающих в себя радиосредства различных диапазонов длин волн, а также совершенствование бортового радиоэлектронного оборудования воздушных судов. При этом наземные приемо-передающие радиоцентры 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 приемо-передающих терминалов радиосвязи работающих в более высоких частотных диапазонах путем построения автоматизированной системы воздушноназемной связи.

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 основе решения данных задач должны быть положены принятия решений на организацию радиосвязи 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 состояние системе управления в соответствии с информационными протоколами.

Выполнение вышеизложенных условий возможно путем применения автоматизированной системы управления связью и РТО.

В общем случае автоматизированная система управления связью и РТО представляет собой взаимоувязанную по целям, решаемым задачам и времени функционирования совокупность органов управления связью и РТО, пунктов управления связью, и технической основы системы управления связью и РТО, имеющей аппаратно-программную реализацию, средства автоматизации управления которой обеспечивают автоматизированное управление системой в различных условиях обстановки, 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.

#### Список использованной литературы

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.

#### Хребтов А.Р., Сарычев Р.А.

#### СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ 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.

Целью работы является исследование влияния многолучевого распространения радиоволн на величину погрешности измерения угла фазовым методом. Он подразумевает наличие измерителя, имеющего две приемопередающие антенны, два приемника, передатчик, фазовый детектор и сглаживающий фильтр [1].

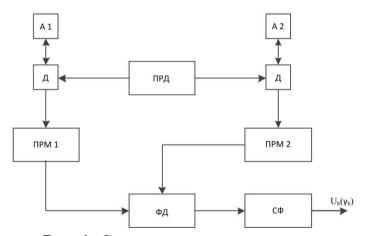


Рис. 1. Структурная схема системы

Структурная схема такой системы представлена на рисунке 1 [2].

На рисунке 2 схематично изображены пути радиоволн, отражающихся от объектов, расположенных в зоне действия системы. Приведенная ниже формула представляет суммарную амплитуду сигналов на входе приемника системы кон-

троля с учетом многолучевого распространения в соответствии с рисунком 2 [3].

$$S = A_0 + A_1 \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{D \cdot r_1}{\lambda}\right) + A_2 \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{D \cdot r_2}{\lambda}\right) + A_3 \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{D \cdot r_3}{\lambda}\right).$$

Можно предположить, что эта сумма содержит регулярную составляющую, обусловленную сигналом прямого луча и быстро меняющиеся составляющие, обусловленные задержанными лучами. Для их устранения был использован фильтр низких частот Баттерворта 3 порядка [4]. Благодаря этому был значительно снижен вклад быстро флук-

туирующих составляющих, что способствует уменьшению погрешности оценивания угла, следовательно, повышается точность измерительной системы [5]. В таблице 1 представлены величины среднеквадратических погрешностей оценки при в условиях отсутствия и наличия MP. Все величины получены при средней амплитуде шума 0,02В. Как видно из таблицы 1, при выбранном методе измерения угла пеленга MP не критично сказывается на точности системы.

Таблица 1. Сравнение величин ошибки

Присутствие много-	Outubra upwapatuta	Ошибка измерения
лучевого распростра-	Ошибка измерения	в линейном эквива-
нения	угла, град.	ленте, м
Нет	0,144	0,063
Да	0,194	0,085

#### Список использованной литературы

- 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.

#### Хрипунов В.П., Зырянов Ю.Т.

#### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЕРОВ

ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина», Россия, Звездный городок,

ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

В настоящее время в связи с прогрессирующим развитием вычислительной техники и информационных технологий разработка автоматизированных онлайн средств контроля и диагностики сложных технических систем находит все более широкое развитие.

Проблема оперативного поиска неисправности и восстановления в кратчайшие сроки работоспособного состояния космических тренажеров особенно ярко проявилась в процессе совершенствования программ эксплуатации тренажерных средств пилотируемых космических аппаратов (ПКА) и обусловлена новыми тенденциями в создании и развитии тренажеров и тренажерных комплексов для подготовки космонавтов.

Используемые на тренажерах ПКА способы эксплуатации «по состоянию» и «по отказу» вызывают необходимость создания алгоритмов обработки статистической информации, получаемой от датчиков аппаратных средств тренажера, с целью выдачи оптимальных (с точки зрения своевременности и правильности) рекомендаций инженернотехническому персоналу (ИТП) по поиску и устранению неисправностей.

Зачастую процесс принятия решений ИТП по устранению (локализации) возникающих неисправностей требует быстрого и качественного анализа большого объема имеющейся информации, как правило, в условиях неполной и/или неточной информации. При этом, проведение такого анализа на достаточно адекватном уровне ИТП (особенно с малым опытом эксплуатации) самостоятельно, без внешней поддержки, в условиях связанных с дефицитом времени и психологической напряженностью тренировочного процесса космонавтов, представляет собой достаточно сложную задачу.

Комплексный характер факторов, сопровождающих появление неисправностей на тренажерах ПКА, многообразие аппаратных и программных средств тренажеров, а также

сложность поиска вариантов выхода из возникающих ситуаций при ограниченных резервах времени на разработку рекомендаций для исключения срыва тренировки требуют привлечения универсальных средств диагностики и контроля, адаптируемых к различным системам и используемых как инструментальную, так и неинструментальную информацию.

По существу, задача сводится к созданию специализированной информационноуправляющей измерительной системы контроля процесса изменения состояния космического тренажера и установления границ его изменения на основании текущей информации о работе всех его систем. При этом следует также учитывать различные потенциальные последствия влияния неисправностей каждой из систем тренажера на его работоспособность и возможность продолжать тренировочный процесс без ущерба для подготовки космонавтов и, что не менее важно, не привития им ложных навыков эксплуатации космической техники.

Наличие человеко-машинных звеньев делают особо актуальной потребность интерактивной связи оператора тренажера с системой контроля в процессе диагностики и устранения неисправности.

Данные обстоятельства выдвигают задачи автоматизации управления процессом принятия решений оператором космического тренажера в процессе проведения тренировок космонавтов в качестве одних из наиболее приоритетных в космическом тренажеростроении.

Перспективным направлением исследований в области автоматизации процесса поиска и устранения неисправностей в тренажерах является применение инновационных интеллектуальных технологий контроля и диагностики состояния сложных систем, обеспечивающих качественно новые возможности обработки и представления информации.

#### Список использованной литературы:

- 1. Моделирование при обеспечении безопасности космического полета / А.А. Тищенко, В.И. Ярополов.— М: Машиностроение, 1981. C.177-178
- 2. Модели технического обслуживания сложных систем / Е.Ю. Бразилович. М: Высшая школа, 1982. С. 19, 50-51.
- 3. 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.

Ворогушин П.А., Кольтюков Н.А., Фетисов И.Н.

## АНАЛИЗ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИМИ ТЕПЛОВЫМИ АППАРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОФИЛЯ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

**Аннотация.** В данной статье описывается анализ оптимального энергосберегающего управления тепловыми аппаратами.

Ключевые слова. Тепловой аппарат, оптимальное энергосберегающее управление.

Аппараты с электронагревом широко применяются для термообработки сырья, материалов, полупродуктов и т.д., к ним относятся разного рода печи, вулканизаторы, автоклавы, сушилки и другие. Основными особенностями этого оборудования как объектов оптимального управления являются большая потребляемая мощность, значительная доля времени работы в динамических режимах, частая смена исходных данных. Большинство существующих алгоритмов управления не учитывают теплоаккумулирующие способности конструкции аппаратов с электронагревом и неточность задания начальных условий, что ведет к значительному перерасходу энергии в динамических режимах.

Эффективность работы систем оптимального управления во многом зависит от точности математического описания динамических режимов. Идентификация модели динамики аппарата с теплоаккумулирующими свойствами включает:

- определение структуры модели одностадийная или многостадийная;
- определение вида и оценка параметров модели для каждой стадии, в т.ч. температурные диапазоны стадий;

получение зависимостей параметров теплоаккумулирующих свойств от различных режимных и внешних факторов, в т.ч. начальной и конечной температуры, траектории изменения управляющего воздействия, нагрузки аппарата, окружающей температуры и др.

Для решения задач оптимального управления в качестве характеристики теплоаккумулирующих свойств удобно рассматривать изменение температуры  $T=z_1$  после отключения (полного или частичного) электропитания нагревательных элементов.

Исследовались несколько альтернативных моделей в форме обыкновенных дифференциальных уравнений:

- объект первого порядка с запаздыванием (Аз)

$$z_{1}^{o} = az(t) + bu(t - t_{3}); (1)$$

- объект второго порядка с запаздыванием (АИз и ДАз)

$$\begin{pmatrix} c \\ z_1 \\ c \\ z_2 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} z_1(t) \\ z_2(t) \end{pmatrix} + Bu(t - t_3); \tag{2}$$

- модель с двумя зонами (ДИз + Аз)

$$\begin{cases}
\begin{pmatrix} o \\ z_1 \\ o \\ z_2 \end{pmatrix} = A_1 \begin{pmatrix} z_1(t) \\ z_2(t) \end{pmatrix} + B_1 u(t - t_{31}), \ z_1 \in [z_1^0; z_1^n], \\
o \\ z_1 = a_2 z(t) + b_2 u(t - t_{32}), \qquad z \in [z^n = z_1^n; z^k],
\end{cases}$$
(3)

здесь  $a,\ b,\ A,\ B$  — параметры и матрицы параметров моделей соответственно,  $t_{_3}$  - время запаздывания.

При выполнении работ по идентификации выявлено, что значения отдельных параметров моделей существенно зависят от начальной температуры, которая определяется конструкцией нагревательного аппарата. Оценка параметров модели по экспериментальным данным показала, что от начальной температуры существенно зависят параметр b и время запаздывания  $t_3$ , а параметр, a практически постоянен.

#### Список используемых источников

- 1. Кольтюков, Н.А. Оптимальное энергосберегающее управление смесительными машинами предприятий по производству и переработке полимерных материалов: дис. на соиск. уч. степ. кандидата техн. наук. / Н.А. Кольтюков; ТГТУ Тамбов, 2002. 174 с.
- 2. Белоусов, О.А. Энергосберегающее управление группой мощных аппаратов с электронагревом/ О.А. Белоусов, Н.А. Кольтюков, Ю.Т. Зырянов // Энергобезопасность и энергосбережение. 2015. № 5(65). С. 27–29.
- 3. Данилов, С.Н. Алгоритм сопровождения с реконфигурацией модели / С.Н. Данилов, Н.А. Кольтюков, Р.А. Ефремов // Вестник ТГТУ. 2015 Т.21. №3 С. 418-423.

4. Данилов, С.Н. Мультимодельный алгоритм сопровождения со сниженными вычислительными затратами / С.Н. Данилов, Н.А. Кольтюков, Р.А. Ефремов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах. Тезисы докладов 2-ой Международной конференции с элементами научной школы. Тамбов, 22–24 апреля 2015 года, с. 304-305.

Ворогушин П.А., Кольтюков Н.А., Фетисов И.Н.

#### СИНТЕЗ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИМИ ТЕПЛОВЫМИ АППАРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОФИЛЯ

Тамбовский государственный технический университет (г. Тамбов)

**Аннотация.** В данной статье описывается синтез оптимального энергосберегающего управления тепловыми аппаратами.

Ключевые слова. Тепловой аппарат, оптимальное управление.

С целью исследования теплоаккумулирующих свойств нагревательных аппаратов проведена серия экспериментов с отключением напряжения питания при значениях температуры, близкой к конечной. Исследования проводились на вулканизаторе. Было выявлено, что теплоаккумулирующие свойства конструкции исследуемого вулканизатора проявляются в форме процесса первого вида.

Анализ этих экспериментальных данных также показал, что значения параметров модели, полученные на начальной стадии нагрева, при завершении разогрева не могут быть использованы. Кроме того, здесь не соблюдается условие о постоянстве параметра *a*.

Для решения задач анализа и синтеза энергосберегающего управления разогревом в качестве показателя теплоаккумулирующей способности конструкции аппарата используется приращение температуры  $\Delta T$  после отключения питания электронагревателей.

Экспериментальным путем определены зависимости  $\Delta T$  от  $z_1^0$ , при различных значениях температуры окружающей среды  $T_{o\kappa p}$  величины понижения управления.

На основе полученных при идентификации моделей динамики и зависимостей, характеризующих теплоаккумулирующие свойства конструкции вулканизатора, решены задачи анализа и синтеза энергосберегающего управления нагревом. Для определения температуры  $T_{om\kappa n}$  момента времени  $t_n$ , при котором в конце нагрева понижается управление для корректного использования теплоаккумулирующих свойств, решалась обратная задача оптимального управления. В результате получены значения  $T_{om\kappa n}$ ,  $t_n$  и управ-

ление  $u_{np}$ , устанавливаемое в момент времени  $t_n$ . Оптимальное управление нагревом использует программную стратегию, стабилизация температуры осуществляется ПИД-регулятором.

Обобщенный алгоритм управления температурными режимами имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
u_{7}^{*}(t) &= \begin{cases} u_{6}/2 + d_{7}e^{at}, & t \in [t(z_{0}), t_{7}), \\ u_{6}, & t \in [t_{7}, t(z_{x})]; \end{cases} \\
u_{n}(t) &= \begin{cases} u_{6}, & t \in [t(z_{x}), t_{n}], \\ u_{np}, & t \in [t_{n}, t(z_{x}) + \Delta t_{n}); \end{cases} \\
u(t) &= \begin{cases} u_{p}(t_{j}) &= K_{p} \Delta z(t_{j}) + \frac{K_{p}}{T_{u}} \sum_{i=0}^{j} \Delta z(t_{i}) \Delta t + \\ + K_{p} T_{0} \frac{(\Delta z(t_{j}) - \Delta z(t_{j-1}))}{\Delta t}, & (t_{p} \geq t_{\kappa}) \cap (\Delta z_{j} \leq \Delta z_{j}^{0}); \end{cases} \\
u_{1}(t) &= \begin{cases} u_{3}^{*}(t), & L_{1} \in \mathcal{L}_{3}, \\ u_{7}^{*}(t), & L_{1} \in \mathcal{L}_{7}, \end{cases} & (t \geq t_{\kappa}) \cap (\Delta z > \Delta z^{0}), \end{aligned}$$

где  $d_7$ ,  $t_m$  — параметры оптимального программного управления нагревом;  $\Delta t$  — шаг дискретизации;  $\Delta z(t_j) = z_1(t_j) - z_1(t_{j-1})$ ;  $\Delta z = z(t_j) - z^\kappa$ ;  $z^\delta$  — допустимое отклонение  $z(t_j)$  от  $z^\kappa$ , превышение которого устраняется энергосберегающими управляющими воздействиями;  $K_p$ ,  $T_u$ ,  $T_\delta$  — параметры настройки ПИД-регулятора;  $z_\kappa$  — значение z, при котором начинает действовать управление переходного режима от нагрева к стабилизации.

#### Список используемых источников

- 1. Кольтюков, Н.А. Оптимальное энергосберегающее управление смесительными машинами предприятий по производству и переработке полимерных материалов: дис. на соиск. уч. степ. кандидата техн. наук. / Н.А. Кольтюков; ТГТУ Тамбов, 2002. 174 с.
- 2. Белоусов, О.А. Энергосберегающее управление группой мощных аппаратов с электронагревом/ О.А. Белоусов, Н.А. Кольтюков, Ю.Т. Зырянов // Энергобезопасность и энергосбережение. 2015. № 5(65). С. 27–29.
- 3. Данилов, С.Н. Алгоритм сопровождения с реконфигурацией модели / С.Н. Данилов, Н.А. Кольтюков, Р.А. Ефремов // Вестник ТГТУ. 2015 Т.21. №3 С. 418-423.

4. Данилов, С.Н. Мультимодельный алгоритм сопровождения со сниженными вычислительными затратами / С.Н. Данилов, Н.А. Кольтюков, Р.А. Ефремов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах. Тезисы докладов 2-ой Международной конференции с элементами научной школы. Тамбов, 22–24 апреля 2015 года, с. 304-305.

# СЕКЦИЯ 5. ЭФФЕКТИВНЫЕ БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

#### Венцерова Н.В., Тымчук Т.М.

#### РАЗРАБОТКА ПОЛОЙ СТРУКТУРЫ, ИМИТИРУЮЩЕЙ КРОВЕНОСНЫЙ СОСУД, ДЛЯ ТКАНЕИМИТИРУЮЩЕГО ФАНТОМА КОЖИ ЧЕЛОВЕКА

Тамбовский государственный технический университет

**Аннотация:** В данной работе разработан алгоритм моделирования и изготовления полой стурктуры, имитирующая кровеносный сосуд для многослойного тканеимитирующего фантома для контроля технического состояния оптических томографов.

**Ключевые слова:** тканеимитируйший фантом, фантом сосуда, быстрое прототипирование, фантом кожи человека.

В настоящее время оптические и ультразвуковые методы диагностики не потеряли свою актуальность, а наоборот привлекли к себе ещё больший интерес. Основное пре-имущество данных методов в их неинвазивности и в возможности исследовать объект в режиме реального времени. Однако для успешного дальнейшего развития многочисленных методик диагностики нужно контролировать большое количество параметров, например, точность измерения скорости кровотока, определение направления кровотока, совпадение результатов цветного картирования и В-режима для УЗИ-сканеров.

Решением такой задачи будет являться разработка полой структуры, имитирующая сосуд с механическими и оптическими свойствами имитируемого биологического объекта.

Сосуды изготавливаются с помощью технологий быстрого прототипирования. Для фотополимерной смолы определяется время засветки, которое зависит от марки смолы, её цвета и толщины слоя. Затем создаётся модель и подготавливается к печати с использованием слайсера. Толщина слоя задаётся в диапазоне от 0,01 до 0,4 мм. Время экспозиции слоя (время засветки) отвечает за точность и толщину слоя. Время экспозиции нижнего слоя устанавливается на порядок выше обычного слоя. Это необходимо для того, чтобы изготавливаемый 3D-объект имел прочную основу (рис 1).



Рисунок 1 – Процесс моделирования полой структуры, имитирующий кровеносный сосуд

Период отключения характеризуется временем воздействия УФ-излучения на каждый слой. После экспозиции УФ-излучение отключается, платформа поднимается, очищается и останавливается на заданной высоте до следующего момента экспозиции. Модель сосуда изготавливается в программе Blender на основе анатомических данных о его строении. Средняя толщина сосудов в гиподерме составляет 1,4 мм, толщина стенки сосуда равна около 0,2 мм. Данная модель сохраняется в формате .stl и затем экспортируется в слайсер «Photon WorkShop», где происходит выбор профиля печати. Общее время печати одного сосуда приблизительно равна одному часу. Вертикальное расположение сосуда было выбрано для предотвращения дефектов в полой части.

Таким образом, подобранные материалы и алгоритм изготовления полой структуры позволяют создать легко воспроизводимый, стабильный, безопасный и экономически выгодный тест-объект, имитирующий кровеносный сосуд для нужд оптической томографии и ультразвуковой диагностики.

#### Список используемой литературы

1. Потлов, А.Ю. Повышение точности регистрации неоднородностей в сильно рассеивающих средах без решения обратной задачи / А.Ю. Потлов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2018. – С.77 – 87.

#### Леньшин С. Г., Дубровин В.В.

#### ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Тамбовский государственный технический университет

Использование электроэнцефалографа (ЭЭГ) в ходе нейробиологических исследований имеет ряд преимуществ перед другими инструментальными методами:

- ЭЭГ представляет собой неинвазивный способ исследования объекта;
- нет жёсткой необходимости оставаться в неподвижном состоянии, как при проведении функциональной МРТ;
- в ходе ЭЭГ регистрируется спонтанная активность мозга, поэтому от субъекта не требуется взаимодействия с исследователем;
- ЭЭГ обладает высоким разрешением во времени по сравнению с такими методами, как функциональная МРТ, и может использоваться для идентификации миллисекундных колебаний электрической активности мозга.

Потенциалы, связанные с событиями, выделяют путём анализа сигнала ЭЭГ для всех исследований в определённом состоянии [1].

Современный электроэнцефалограф имеет большое количество отведений (электродов) и видов анализа полученных данных. С целью упростить процесс регистрации психоэмоциональных импульсов головного мозга предлагается программно-аппаратный комплекс, состоящий из электроэнцефалографа, разработанного на основе платы arduino, и программного обеспечения для анализа ЭЭГ. Структурная схема прибора представлена на рисунке 1.

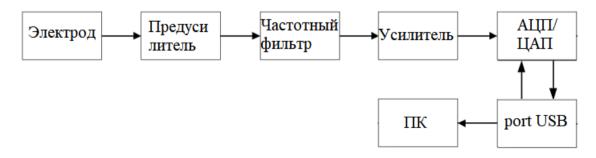


Рис. 1. Структурная схема

Электродами для снятия импульсов головного мозга служит многоточечный электрод, все штырьки которого закорочены (соединены в один элемент). Длинные штырьки соприкасаются с поверхностью кожи головы, минуя волосяной покров. На рисунке 2 приведена электронная схема, в которой электрод является информационным контактом с поверхностью головы. Сигнал с электрода поступает на предусилитель, на который так же поступает сигнал с эмиттерного повторителя от ушного электрода (нуля). Далее сигнал биофизических показателей проходит через RC-фильтр, что позволяет убрать постоянную составляющую. Очищенный сигнал подаётся на операционный усилитель, чтобы достигнуть необходимого напряжения на аналоговом входе платы *arduino*.

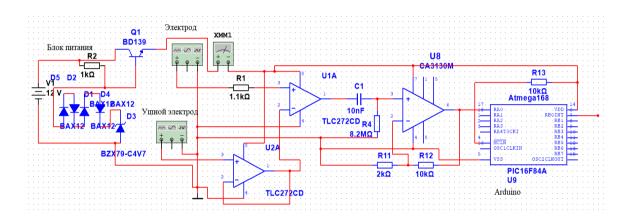


Рис. 2. Принципиальная электронная схема

Язык программирования устройств Arduino основан на C/C++. Для программирования плата подключается к компьютеру через USB- порт, который также питает плату необходимым напряжением. Программа, установленная на плате, выполняет первичную обработку сигнала, но дальнейший анализ производится на компьютере с помощью вейвлет - преобразования, что позволит отделить эмоциональные всплески от других состояний.

#### Список использованной литературы

1. Леньшин, С.Г. Интеллектуальная система распознавания эмоционального состояния на электроэнцефалографе / С.Г. Леньшин // Взгляд молодых на проблемы региональной экономики — 2017. Материалы Всероссийского открытого конкурса студентов вузов и молодых исследователей. 2017. С.211-213.

#### Михина А.В., Строев В.М.

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИДЕО-ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ СКРИНИНГА КОЖНОГО ПОКРОВА ЧЕЛОВЕКА

Тамбовский государственный технический университет

**Аннотация:** В данной статье рассматривается способ повышение эффективности видео-тепловизионной системы. Система используется для скрининга недоброкачественных образований на теле человека.

**Ключевые слова:** видео изображение, тепловизионное изображение, обработка, новообразование, скрининг.

Скрининг- это обследование лиц с целью выявления возможных патологий. Ранняя диагностика новообразований позволяет избежать дальнейшего развития заболевания, а так же возникновение осложнении.

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.

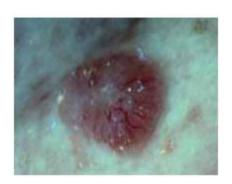
Данный метод имеет недостаток, потому что используется адаптивный порог, вычисляемый на основе значения средней яркости изображения. Он характеризуется выбором узкого порога выделения, что повышает количество ложных решений.

Для более точного выделения области поражения используем метод флуоресцентной диагностики новообразований кожи [2]. Пациенту перорально дают препарат «Аласенс». Через 3 часа после приёма препарата «Аласенс» делается люминесцентная фотография камерой.

Производится формирование изображения в HSI пространстве по формуле:

$$\theta = \arccos\left(\frac{0.5*((R-G)+(R-B))}{\sqrt{(R-G)^2+(R-B)*(G-B)}}\right)$$

Для моделирования способа были использованы реальные цветные фотографии, представленные в открытом доступе ФГБУ "НИИГБ" РАМН.



1-100500

Рис. 1. Изображение в системе RGB

Рис. 2. Изображение в системе HSI

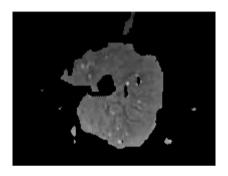


Рис. 3. Полученные результаты обработки

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. 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.

#### Список использованной литературы

- 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., Кирющенкова Н.П. Повышение эффективности флюоресцентной диагностики новообразований кожи и слизистых оболочек в офтальмологии// Вестник РАМН. – 2012. №10. С. 62-69.

#### Непрокин А.В., Горбунов А.В.

### АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ ВИДЕООКУЛОГРАФИИ

Тамбовский государственный технический университет

**Аннотация:** Предложен простой алгоритм поиска центра зрачка на видео с использованием библиотеки OpenCV. Алгоритм может быть использован в системах видеоокулографии.

**Ключевые слова:** Видеоокулография, ВОГ, поиск центра зрачка, компьютерное зрение, OpenCV.

Видеоокулография (ВОГ) - современный метод диагностики заболеваний вестибулярного аппарата. Метод основан на видеозаписи движений одного или обоих глаз с помощью инфракрасных камер, закрепленных в специальной непрозрачной маске.

Программное обеспечение ВОГ распознает зрачок и его центр, а также регистрирует траекторию движения глаза в виде графика.

При разработке таких систем используются библиотеки компьютерного зрения. В зависимости от конкретного метода обработки видеоизображений определяется центр зрачка или его граница.

Существует множество методов, таких как использование морфологических операций или функции проекции [1, 2]. Преимуществом этих методов является скорость обработки изображения. Основным недостатком этого класса методов является значительное количество ошибок, вызванных искажением формы объектов, удалением частей фигур.

Граница зрачка имеет закругленный контур, но его отличия по радиусу от аппроксимирующей окружности в большинстве случаев достигают 5% радиуса, а иногда превышают 10%. В связи с этим алгоритмы определения границы зрачка как окружности работают нестабильно.

Для решения проблемы был применен метод, именуемый в англоязычной литературе blob detection [3]. Алгоритм реализован с использованием библиотеки OpenCV и языка программирования Python (рисунок 1). Видео было записано с помощью разрабо-

танного и запатентованного устройства для видеорегистрации на основе доступного аппаратного обеспечения [4].

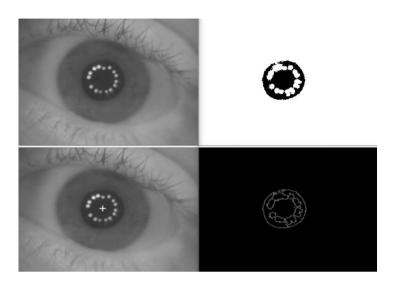


Рисунок 1 – Этапы обработки изображения.

Данный алгоритм состоит из четырех основных этапов:

- 1. Преобразование видеоизображения в градации серого
- 2. Бинаризация полутонового изображения
- 3. Поиск контуров зрачка на бинарном изображении с помощью детектора Canny
- 4. Поиск центра зрачка после вычисления «моментов» изображения.

Алгоритм показывает хорошие результаты даже тогда, когда глаз частично закрыт ресницей.

#### Список использованной литературы

- 1. Bakshi S., Mehrotra H., Majhi B. Real-time Iris Segmentation based on Image Morphology // Proc. Int. Conf. Communication, Computing and Security. Odisha, India, February 12-14, 2011.
- 2. Mohammed G.J., Hong B.R. and Jarjes A.A. Accurate pupil features extraction based on new projection function // Computing and Informatics, 29:663 680, 2010.
- 3. Find the Center of a Blob (Centroid) using OpenCV (C++/Python). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.learnopencv.com/find-center-of-blob-centroid-using-opencv-cpp-python/
- 4. Пат. №183466 на полезную модель, РФ МПК А61В 3/113 (2006.01) Устройство для видеонистамографии / А.В. Непрокин; заявл. 07.03.2018; опубл. 24.09.2018, Бюл. № 27

Новиков А. А., Сукачев А. И., Рыбников Д. А., Сафонов И. А.\*

#### СИСТЕМА БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАССАЖИРОВ В БЕСПИЛОТНОМ АВТОМОБИЛЕ

\* Воронежский государственный технический университет, Россия, Воронеж,

Будущее автомобилестроения, безусловно, стоит за беспилотным транспортом, уже на сегодняшний день существует множество примеров его применения в различных отраслях жизнедеятельности. Основной отличительной особенностью таких автомобилей является наличие искусственного интеллекта, что практически исключает необходимость человека непосредственно управлять машиной.[1] Один из остросоциальных вопросов использования транспорта будущего — вопрос безопасности людей его эксплуатирующих, в частности, их идентификация.

Главным недостатком большинства существующих систем безопасности является отсутствие привязки идентификатора к владельцу транспортного средства. Предлагаемая система решает эту проблему, так как основным элементом идентификации выступает отпечаток пальца. Применение дактилоскопии обусловлено следующими факторами: вопервых, свои индивидуальные биометрические данные невозможно забыть (в отличие, например, от чип-ключа или RFID-метки); во-вторых, это самый распространенный и не менее эффективный от этого, метод (большое разнообразие сканеров на рынке); втретьих, это защищенность, обусловленная тем, что папиллярный узор тяжело подделать.

Обобщенная структурная схема, разрабатываемой системы представлена на рисунке 1. В ее состав входят: вычислительное устройство, камера, сканер отпечатка пальца, GPS/GSM модули, автомобильный аккумулятор, планшет и мобильное устройство. Принцип работы заключается в том, что владелец на момент идентификации уже находится внутри автомобиля (это нивелирует взлом дверного замка), но не имеет доступ к его управлению. При активации системы человеку необходимо приложить палец к сканеру отпечатка, в этот же момент происходит фотофиксация лица, при помощи камеры, установленной скрытно, и отправка данных (отпечатка и фотографии человека) во встро-

енный накопитель и на удаленную базу данных (БД). При неудачной идентификации, система уведомляет клиента на его мобильное устройство, выполняющее роль только многоуровневого аутентификатора.[2] Общая пересылка пакетов данных осуществляется посредством GSM-модуля. Планшет, расположенный в машине, отвечает за функцию управления и настройки всей системы в целом: добавление новых пользователей; частоту сканирования водителя, при необходимости; построение маршрута в совокупности с GPS-модулем; просмотр технических оставляющих автомобиля, и т.д. За всю обработку данных отвечает вычислительное устройство, выполненное на базе микрокомпьютера. Питание системы осуществляется посредством блока управления питанием, который подключен к бортовой сети автотранспортного средства.



Рис. 1 – Обобщенная структурная схема системы идентификации

Необходимо так же отметить, что выбор сканера отпечатка пальца осуществлялся из групп оптических, полупроводниковых и термических сенсоров, так как емкостные и ультразвуковые находятся в достаточно высокой ценовой категории. Из рассматриваемых был выбран оптический датчик, так как его техническая (отсутствие резкой зависимости от температуры, давления, малой вероятности ошибки при сканировании) и экономическая (цена) составляющие, по сравнению с ближайшими аналогами – выше.

В качестве вычислительного устройства был выбран микрокомпьютер Raspberry Pi 4, в сравнении с аналогами микроконтроллеров, поскольку: во-первых, обладает большим количеством инструкций для перемещения данных между памятью и процессором и высокими показателями параллельной обработки данных (хоть и медленными); вовторых, является лидером в производстве микрокомпьютеров за счет своих технико-экономических характеристик.

Данная система имеет определенный вектор развития, например, внедрение машинного зрения (для улучшения показателя безопасности при процедуре идентификации), голосового управления или поддержки и т.д.

#### Список использованной литературы

- 1. Веденеев А.В. Разработка аппаратно-программного комплекса «Smart Car» / А.В. Веденеев, В.А. Щедрин, А.И. Сукачев // Сб. докл. регион. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Инновационные разработки молодых учёных Воронежской области на службу региона». 2016. С. 108-110.
- 2. Веденеев А.В. Разработка алгоритмов управления программным и аппаратным обеспечением мобильного клиента комплекса "SMART CAR" / Веденеев А.В., Сукачев А.И., Щедрин В.А.// Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis Proceedings of the XXII-th International Open Science Conference. 2017. C. 300-304

#### Севодина А.Н., Фролова Т.А.

### РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ

Тамбовский государственный технический университет (г.Тамбов)

Проблема выбора медицинского изделия для лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) является наиболее актуальной на сегодняшний день [1-3]. Информационная модель может помочь не только в составлении технического задания на покупку медицинского изделия, но и в выборе оптимального медицинского изделия для данного ЛПУ [1].

Разработана информационная модель гематологического анализатора на языке UML. В модели (рисунок 1) присутствует 8 классов с различными атрибутами, которые определяют свойства и технические характеристики. На вершине иерархии находится класс «Назначение ИМТ», который определяет главные параметры – назначение «Гематологический», класс «Автоматический», возможность измерения «Лейкоцитарная формула». Классы, которые имеют отношение с верхним уровнем иерархии, имеют следующее распределение: производительность – данный класс определяет производительность прибора, какое количество исследований совершает анализатор в определенный промежуток времени. Данное свойство важно учитывать в связи с тем, что от масштабов лаборатории будет зависеть, какая производительность будет оптимальная в данных условиях; реагенты – данный класс определяет количество необходимых для обслуживания реагентов, что позволяет оценить экономическую составляющую выбора анализатора; калибровка – данный класс дает возможность оценить тип калибровки прибора. Это необходимо для оценки метрологических характеристик прибора и его эффективности с точки зрения точности результатов; тип анализируемых образцов – позволяет понять, с каким типом биологической жидкости может работать данный анализатор; определяемые параметры - класс позволяет оценить количество измеряемых параметров; методы измерения – данный класс позволяет оценить способы измерения параметров, что важно учитывать при оценке возможностей анализатора.

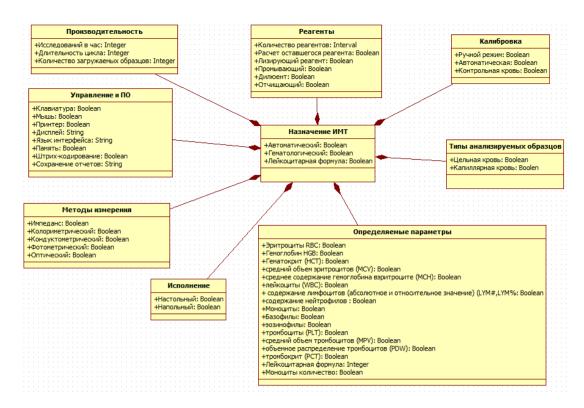


Рисунок 1 – Информационная модель гематологического анализатора

Таким образом, информационная модель значительно упрощает и оптимизирует выбор изделия медицинской техники при техническом оснащении ЛПУ.

#### Список использованной литературы

- 1. Фролова М.С., Фролов С.В. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении // Вестник ТГТУ. 2013. Т. 19(3). С. 553-561.
- 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.
- 3. Фролов С.В., Фролова М.С. Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения// Менеджер здравоохранения. 2013. №11. С.50-61.

Судаков Д.Е., Дубровин В.В.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛОСОВЫХ ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ ЗРИТЕЛЬНОЙ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Тамбовский Государственный Технический Университет (Россия, г Тамбов)

Наиболее адекватным инструментом изучения процесса движения глазного яблока является метод регистрации вызванных или событийно-связанных потенциалов (ВП) на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Электроэнцефалограмма оцифровывается и вводится в виде одномерного массива в вычислительное устройство для обработки с помощью полосового вейвлет-фильтра.

Все алгоритмы вейвлет фильтрации имеют характерную особенность - «отфильтрованные» коэффициенты разложения получаются умножением «зашумленных» коэффициентов на фильтрующий множитель, принимающий значение в интервале [0,1]. Для вычисления этого множителя используется, как правило, отношение «шум/сигнал» или оценка этого отношения.

Для фильтрации сигнала ЭЭГ была использована вейвлет-фильтрация. Сигнал подается на вход двух сопряженных квадратурных зеркальных фильтров. В результате исходный сигнал будет представлен, как две новые последовательности коэффициентов L и H. Последовательности L и H имеют половинную длину по сравнению с исходным сигналом.

Выбор уровня L выбирается из условия, при котором отношение сигнал/шум наибольшее. Таким образом выбирается частота, на которой будут подавляться помехи, и при этом будет сохраняться полезный сигнал.

На рис.1 показан сигнал ЭЭГ при различном уровне фильтрации  $-2^0$ ,  $2^1$ ,  $2^2$  соответственно.

При уровне фильтрации  $2^2$  часть полезного сигнала теряется, поэтому выбираем уровень  $2^1$  как оптимальный уровень фильтрации для сигнала.[1].

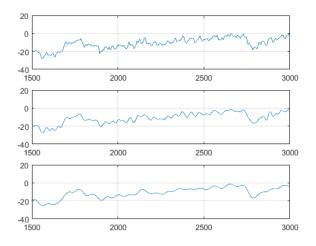


Рис. 1 Сигнал ЭЭГ при различных уровнях фильтрации

После фильтрации сигнала находим амплитудно-частотную характеристику (AЧX) –  $A(\omega)$  и фазо-частотную характеристику (ФЧX) –  $\phi(\omega)$ 

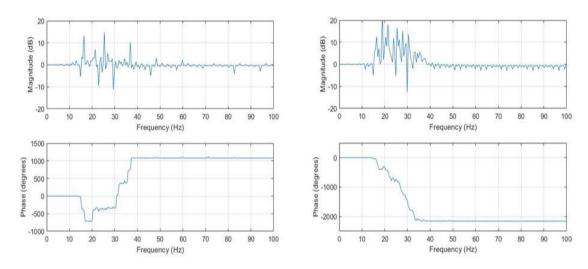


Рис. 2. - АЧХ и ФЧХ при движении глаз вверх и вниз

Сравнивая полученные частотные характеристики, видим инверсию ФЧХ при движении глазных яблок в прямо противоположные направления. Форма АЧХ так же меняется, но ее изменения не так значительны. ФЧХ несет в себе большее количество полезной информации, поэтому эта характеристика будет основной функцией при дальнейших исследованиях.

#### Список использованной литературы

1. Судаков, Д.Е. Модель электронного глаза человека с использованием искусственной нейронной сети/ Д.Е. Судаков, В.В. Дубровин// Энергосбережение и эффективность в технических системах. - 2016. - C.521-522.

Тымчук Т.М., Венцерова Н.В.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ТКАНЕИМТИРУЮЩЕГО ФАНТОМА МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ И АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ТОМОГРАФОВ

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

Аннотация: в данной работе разработан метод формирования тканеимитирующего фантома для нужд оптической томографии с использованием метода центрифугирования и аддитивного производства для изготовления слоев тест-объекта.

**Ключевые слова:** оптическая когерентная томография, метод центрифугирования, аддитивное производство, биомедицинские фантомы.

Для правильной постановки диагноза и проверки новых методов исследования необходима верная работа медицинского оборудования. Оптическая томография является одним из методов медицинской неинвазивной визуализации внутренних структур. Для оценки правильной работы оптического томографа необходим тканеимитирующий фантом, включающий слои эпидермиса, дермы и гиподермы. Для формирования данных слоев можно использовать метод центрифугирования и аддитивного производство.

SCM-метод — spin coating method, процедура, которая используется для нанесения однородных тонких пленок на плоские подложки. Устройством для создания таких покрытий является центрифуга. Для производства методом центрифугирования необходимо небольшое количество материала нанести на центр плоской подложки, затем подложку вращают со скоростью до 10000 об/мин для равномерного распределения при помощи центробежной силы.

Аддитивное производство — это создание трехмерного объекта по цифровой модели. Аддитивный процесс построения основан на способности последовательного построения объекта послойно, отображая контуры модели. Аддитивные методики основаны на построение объекта путем добавления материала, в отличие от субтрактивных методов, где для создания модели необходимо удалять лишний материал.

На рисунке 1 представлен разработанный метод изготовления многослойного тканеимитирующего фантома для контроля технического состояния оптических томографов.

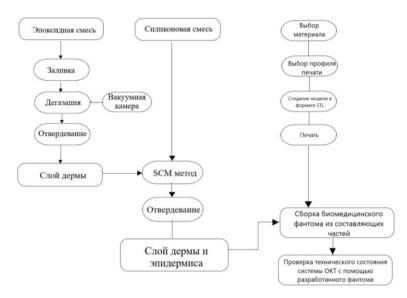


Рисунок 1 – Изготовление многослойного тканеимитирующего фантома

Смеси из эпоксидной смолы и двухкомпонентного силикона используются для метода покрытия тонких пленок с помощью центрифуги, также выбирается материал, профиль печати, создается модель в формате STL и производиться печать слоя гиподермы. Далее все слои соединяются для формирования целостного тканеимитирующего фантома для проверки технического состояния оптического томографа.

В ходе данной работы был предложен метод формирования многослойного тканеимтирующего фантома, созданного с помощью метода центрифугирования и аддитивного производства, для оценки технического состояния оптического томографа.

#### Список использованной литературы

- Jihoon P. Fabrication of double layer optical tissue phantom by spin coating method: mimicking epidermal and dermal layer/ Jihoon P., Yunjin B., Youngwoo B., Heesung K., Kyoung-Joung L., ByungjoJ. // Proceedings Volume 8583, Design and Performance Validation of Phantoms Used in Conjunction with Optical Measurement of Tissue V. 2013.
- 2. **Захаров И.Д.** Медицинский фантом/Захаров И.Д., Петрова П.В. // Образовательный вестник «Сознание». 2017. №12.

Фролов  $C.B^1$ , Потлов  $A.HO.^1$ , Фролова  $T.A^1$ , Liepsch  $D.^2$ 

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

<sup>1</sup> Тамбовский государственный технический университет (г.Тамбов),

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Munich University of Applied Sciences,

Munich, Germany

Планирование и проведение исследований в области компрессионной эластографии проводится с использованием разработанных математических моделей в распределённых координатах, описывающих оптические и механические свойства мягких биологических тканей на основе их структурных изображений.

Моделирование оптических свойств биологических тканей основывается на следующих подходах: 1) на основе априорной информации, полученной с помощью альтернативного метода медицинской визуализации, например, рентгеновской компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии; 2) формирования оптической структуры биологических тканей как случайно-неоднородной сильно рассеивающей среды, содержащей включения и патологии, которые имеют сложную форму и заданные размеры. Моделирование механических свойств биологических тканей основывается на тех же подходах, как и моделирование оптических свойств.

На рисунке 1представлен алгоритм формирования геометрической модели для описания оптических свойств биологической ткани, как распределений коэффициентов поглощения и рассеяния в пространстве. Метод формирования геометрической модели для описания механических свойств биомедицинского объекта аналогичен представленному методу.

Основой метода формирования исходных данных для описания

оптического строения биомедицинского объекта являются томограммы (блок 2), полученные с компьютерного или магнитно-резонансного томографа. Исследуемый биомедицинский объект аппроксимируется конечно-разностной схемой, и биологические ткани представляются как трехмерные конечные объекты заданной формы.

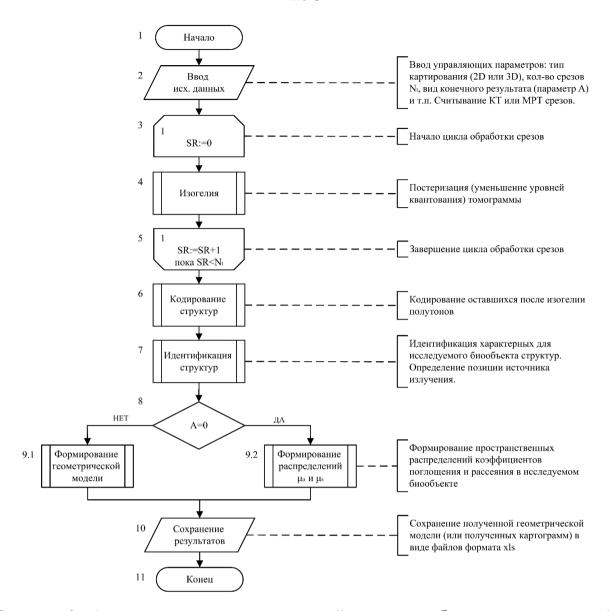


Рисунок 1 — Алгоритм описания оптической структуры биологических тканей и их фантомов

Этот метод реализован в виде программного продукта на основе среды LabVIEW. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-15-10327). Фролов С.В., Потлов А.Ю., Фролова Т.А.

#### ОЦЕНКА СКОРОСТИ КРОВОТОКА В МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ

Тамбовский государственный технический университет (г.Тамбов)

Выявленные закономерности распространения непрерывного низкокогерентного излучения ближнего инфракрасного диапазона в сильно рассеивающих средах с оптическими свойствами и геометрией тканей глаза человека, а также потоками со сложной структурой сквозь плоскость ОКТ-сканирования послужили основой для оригинального подхода к цветовому доплеровскому картированию в ОКТ-системах, включающего в себя в себя следующие действия:

- ОКТ-сканирование исследуемого биообъекта пучком излучения и получение при этом первого набора интерференционных сигналов, содержащего данные, достаточные для построения не менее двух последовательных по времени структурных ОКТ-изображений;
- очистка первого набора интерференционных сигналов от помех посредством порогового ограничения уровня интерференционного сигнала и полосовой фильтрации;
- определение местоположения кровеносных сосудов на основе первого набора интерференционных сигналов, посредством анализа различий в спекл-структуре по меньшей мере двух структурных ОКТ-изображений по коэффициенту корреляции;
- повторное сканирование исследуемого биообъекта пучком излучения и получение при этом второго набора интерференционных сигналов, содержащего данные, достаточные для построения не менее двух последовательных по времени структурных ОКТ-изображений;
- очистка второго набора интерференционных сигналов от помех по аналогии с первым набором;
- определение кровотока на основании флуктуаций в спекл-структуре и доплеровского сдвига несущей частоты для второго набора интерференционных сигналов;

- результирующее структурное ОКТ-изображение исследуемого биообъекта строится посредством усреднения очищенных от шумов структурных ОКТ-изображений второго набора интерференционных сигналов;
- данные о местоположении кровеносных сосудов, вычисленные для второго набора интерференционных сигналов на основании различий в спекл-структуре в пределах каждого изображения и в пределах всей последовательности усредняются и принимаются за фон для картограммы местоположений, направлений и скоростей потоков крови;
- картограмма местоположений, направлений и скоростей потоков крови строится посредством кодирования различных направлений кровотока заданными неповторяющимися цветами, а различных скоростей кровотока их неповторяющимися оттенками;
- результирующее структурное ОКТ-изображение совмещается с картограммой местоположений, направлений и скоростей потоков крови с получением при этом цветовой доплеровской картограммы;
- визуализацию информации, связанной со структурой исследуемого объекта и найденными количественными характеристиками кровотока.

На основе вышеописанного подхода был разработан алгоритм цветового доплеровского картирования потоков крови со сложной структурой в сетчатке и зрительном нерве. Серия экспериментов показала, что разработанный алгоритм позволяет достаточно точно картировать потоки со сложной структурой в исследуемом офтальмологическом объекте, причем без использования экзогенных контрастных веществ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-01-00786 А).

Фролов С.В., Потлов А.Ю., Фролова Т.А.

## УСТРОЙСТВО ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ ОКТ С КОРРЕКЦИЕЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА НА ОСНОВЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ЛАЗЕРА БЛИЖНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА

Тамбовский государственный технический университет (г.Тамбов)

Разработано устройство спектроскопической ОКТ, в котором источником излучения служит фемтосекундный титан-сапфировый лазер с широкой полосой генерируемого низкокогерентного излучения. Источник излучения, световод источника излучения, первый расширитель пучка, перестраиваемый оптический фильтр Фабри-Перо и первый светоделитель последовательно оптически связаны и формируют плечо источника излучения. Перестраиваемый оптический фильтр Фабри-Перо выполнен так, чтобы посредством электрических сигналов контроллера конфигурироваться для пропускания полос излучения с заданной шириной и центральной длиной волны. Первый расширитель пучка и перестраиваемый оптический фильтр Фабри-Перо жестко сочленены, таким образом, чтобы перестраиваемый оптический фильтр Фабри-Перо находился на фокусном расстоянии от первого расширителя пучка. Последовательно оптически связанные световод плеча образца, второй светоделитель, коллиматор, фокусирующая линза, приемновыводное волокно и второй расширитель пучка формируют плечо образца в виде эндоскопического зонда с оптически прозрачными стенками. Световод плеча образца оптически связан с первым и вторым светоделителем. Коллиматор и фокусирующая линза жестко сочленены таким образом, чтобы излучение из коллиматора преломлялось краем фокусирующей линзы на исследуемый объект. Фокусирующая линза и приемновыводное волокно соосно совмещены с соблюдением фокусного расстояния, таким образом, чтобы излучение, отраженное от исследуемого объекта проходило через центр фокусирующей линзы и падало на торец приемно-выводного волокна. Второй расширитель пучка оптически связан с оптическим смесителем плеча детектирования, обработки и визуализации. Второй светоделитель оптически связан с оптическим триггером, последовательно оптически связанные световод опорного плеча, третий расширитель пучка и нейтральный фильтр образуют плечо образца. Нейтральный фильтр жестко закреплен на фокусном расстоянии от третьего расширителя пучка и находится в оптической связи с оптическим смесителем плеча детектирования, обработки и визуализации. Детектором излучения служит широкополосный спектрометр. Оптически связанные оптический смеситель и детектор излучения, а также последовательно электрически связанные детектор излучения, контроллер и блок визуализации формируют плечо детектирования, обработки и визуализации. Оптический тригтер сконфигурирован так, чтобы синхронизировать работу плеча образца и плеча детектирования обработки и визуализации, посредством электрической связи с детектором излучения.

Серия экспериментов с конкретными реализациями разработанного устройства спектроскопической ОКТ эндоскопическим зондом показала повышение точности детектирования интерференционного сигнала по меньшей мере на 21% по сравнению с аналогами.

Устройство спектроскопической ОКТ разработано таким образом, что для адаптации зондов зондами прямого, бокового, проградного и ретроградного обзора, ориентированных на одноволновую ОКТ, необходимо всего лишь заменить основные оптические компоненты (световоды, линзы, зеркала и т.п.) с узкополосных на широкополосные.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-15-10327).